



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
Fakulta mechatroniky, informatiky
a mezioborových studií ■

NÁVRH A REALIZACE LABORATORNÍHO PRACOVISTĚ "SUPORT MODELU SOUSTRUHU"

Diplomová práce

Studijní program: N2612 – Elektrotechnika a informatika

Studijní obor: 1802T007 – Informační technologie

Autor práce: **Bc. Michal Martin**

Vedoucí práce: Ing. Petr Školník, Ph.D.





TECHNICAL UNIVERSITY OF LIBEREC
Faculty of Mechatronics, Informatics
and Interdisciplinary Studies ■

DESIGN AND REALIZATION OF THE "TURNING CARRIAGE" LAB STATION

Diploma thesis

Study programme: N2612 – Electrical Engineering and Informatics

Study branch: 1802T007 – Information Technology

Author: **Bc. Michal Martin**

Supervisor: Ing. Petr Školník, Ph.D.



Tento list nahrad'te
originálem zadání.

Prohlášení

Byl jsem seznámen s tím, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé diplomové práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li diplomovou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Diplomovou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím mé diplomové práce a konzultantem.

Současně čestně prohlašuji, že tištěná verze práce se shoduje s elektronickou verzí, vloženou do IS STAG.

Datum:

Podpis:

Abstrakt

Práce se zabývá sestavením laboratorní úlohy „suport modelu soustruhu“. V první části práce je popsán stav původního modelu a jeho jednotlivé komponenty. Dále jsou popsány jeho možné úpravy včetně optimální funkce. Druhá část práce se zabývá návrhem mechanického a elektronického řešení. Především rozšířením pro pohyb v druhé ose. Při návrhu jsou vybírány jednotlivé komponenty, které by v modelu neměly chybět. Ve třetí části práce je popsána samotná realizace laboratorní úlohy a její oživení. V této části se nachází výběr konkrétních součástek, realizace elektrického obvodu, oživení a otestování správné funkce modelu. V poslední části práce je popsán návrh pro cvičnou úlohu na modelu a popis dosažených výsledků. Cílem práce je, aby čtenář porozuměl a dokázal ovládat laboratorní úlohu.

Klíčová slova: soustruh, senzor, model, Arduino, laboratorní úloha, PWM

Abstract

Work is focused on constructing a laboratory station “Turning carriage”. The first part describes the condition of the existing model and his individual components. The following describes the possible modifications, including optimal function. The second part of work describes the design of mechanical and electronic solutions. First extension for moving the second axis. In a proposal are selected, which components should not miss in the model. In the third part of work is described the actual implementation of laboratory tasks and the recovery. In this section, there is a selection of specific components, electrical circuit implementation, recovery and testing of the correct function model. The last part describes the design of a training task on model and describes the result achieved. Main goal of work is to explain how create laboratory station and explain to reader how to use it.

Keywords: turning machine, sensor, model, Arduino, laboratory station, PWM

Poděkování

Chtěl bych poděkovat vedoucímu práce Ing. Petru Školníku Ph.D., který se mé práce ujal. V neposlední řadě chci poděkovat svým blízkým, kteří mě podporovali během studia.

Obsah

Seznam obrázků	10
Seznam zkratk	12
1 Úvod.....	13
2 Původní stav systému	15
2.1 Seznámení se s původním modelem.....	15
2.2 Komponenty původního modelu	18
2.2.1 Servomotor HSM 60.....	18
2.2.2 Inkrementální rotační snímač	19
2.3 Shrnutí původního modelu	21
3 Navrhované řešení	22
3.1 Funkce modelu.....	22
4 Návrh mechanického a elektrického řešení.....	25
4.1 Mechanické řešení	25
4.1.1 Návrh sestavení druhé osy	25
4.1.2 Ostatní mechanické komponenty.....	28
4.2 Elektrické řešení	28
4.2.1 Ovládání motorů	30
4.2.2 Řídící jednotka.....	34
4.2.3 Ovládání modelu.....	37
4.2.4 Měření vzdálenosti.....	38
4.2.5 Bezpečnostní prvky	39

4.2.5 Schéma zapojení	40
5 Realizace modelu	41
5.1 Mechanické součástky	41
5.2 Elektronické součástky	42
5.2.1 Arduino Due	43
5.2.2 Motor P2MO476 a GM25-370CHV-130-R	44
5.2.3 Optické čidla a senzory.....	46
5.2.4 LCD displej.....	50
5.2.5 Ovládací prvky.....	51
5.2.6 Ostatní součástky	53
5.3 Mechanické zapojení	56
5.4 Elektrické zapojení	59
6 Oživení modelu.....	65
6.1 Funkčnost.....	69
6.2 Laboratorní cvičení	70
6.2.1 Úloha – nalezení správného bodu.....	72
6.2.2 Úloha – synchronizace výkonu obou motorů	73
7 Závěr	74
7.1 Složitost vytvořeného modelu	74
7.2 Rozšíření pro pohyb v druhé ose	74
7.3 Oživení modelu.....	75
7.3 Zhodnocení	75
Literatura.....	77
Příloha.....	78

Seznam obrázků

Obrázek 2.1: Původní model.....	15
Obrázek 2.2: Převod na původním modelu.....	16
Obrázek 2.3: Uchycení motoru na původním modelu	16
Obrázek 2.4: Druhá osa na původním modelu.....	17
Obrázek 2.5: Příčné lišty s mechanickými prvky	17
Obrázek 2.6: Motor HSM 60	18
Obrázek 2.7: IRC čidlo se schématem zapojení	19
Obrázek 2.8: Průběh signálů při otáčení IRC	20
Obrázek 2.9: IRC 120	20
Obrázek 3.1: Schéma možného rozmístění komponent.....	24
Obrázek 4.1: Původní pohyb v druhé ose	26
Obrázek 4.2: Ukázka možného rozšíření	27
Obrázek 4.3: Návrh rozšíření pro pohyb v druhé ose	27
Obrázek 4.4: Průřez motorem s permanentními magnety.....	30
Obrázek 4.5: L298 a MC33887.....	31
Obrázek 4.6: Princip H-můstku	32
Obrázek 4.7: Zapojení H-můstku pomocí přepínačů a tranzistorů	32
Obrázek 4.8: Ukázka PWM	34
Obrázek 4.9: Arduino UNO	35
Obrázek 4.10: ChipKit Uno32	36
Obrázek 4.11: Návrh elektrického zapojení.....	40
Obrázek 5.1: Ložisko LK4-C16.....	41
Obrázek 5.2: Tyč s trapézovým závitem a matkou	41
Obrázek 5.3: Zdroj 12 V 12 A	42
Obrázek 5.4: Arduino Due	43
Obrázek 5.5: Ethernet Shield pro Arduino Due	44
Obrázek 5.6: Motor P2MO476	45
Obrázek 5.7: Motor GM25-370CHV-59.2-R	46
Obrázek 5.8: Optický senzor Sharp 0A41SK	47

Obrázek 5.9: Princip optického senzoru	47
Obrázek 5.10: Princip měření optického senzoru	48
Obrázek 5.11: Optočlen HINT-4300	49
Obrázek 5.12: LCD displej RC1604A-YHY-ESX	50
Obrázek 5.13: Přepínač	51
Obrázek 5.14: Potenciometr.....	51
Obrázek 5.15: Konektor DB25	52
Obrázek 5.16: G8ND-2 a jeho schéma vnitřního zapojení	52
Obrázek 5.17: Tranzistor s pouzdrem TO-220	53
Obrázek 5.18: Budicí a teplotní charakteristika tranzistoru IRL540N	54
Obrázek 5.19: Vnitřní zapojení HCPL-3140	55
Obrázek 5.20: Univerzální plošný spoj.....	56
Obrázek 5.21: Nový pohyb v druhé ose.....	57
Obrázek 5.22: Nový převod pro motor hlavní osy.....	57
Obrázek 5.23: Uchycení motoru pro hlavní osu	57
Obrázek 5.24: Sestavený model laboratorního pracoviště.....	58
Obrázek 5.25: Ovládací panel	58
Obrázek 5.26: Schéma zapojení - ovládání motorů	60
Obrázek 5.27: Schéma zapojení - potenciometry	60
Obrázek 5.28: Schéma zapojení – přepínače	61
Obrázek 5.29: Schéma zapojení - optozávora.....	61
Obrázek 5.30: Schéma zapojení - optočlen na měření vzdálenosti.....	62
Obrázek 5.31: Zapojení LCD displeje	62
Obrázek 5.32: Napěťový dělič	63
Obrázek 5.33: Zapojení konektoru DB25	64
Obrázek 6.1: Vývojové prostředí pro řídicí jednotku Arduino	65
Obrázek 6.2: Diagram měření vzdálenosti.....	67
Obrázek 6.3: Diagram pro změnu směru při ručním ovládání.....	68
Obrázek 6.4: Digram pro řízení výkonu motoru při ručním ovládání	68
Obrázek 6.5: Digram pro řízení při externí ovládání	69
Obrázek 6.6: Principiální schéma modelu	71

Seznam zkratk

PWM	Pulse Width Modulation (Pulsně šířková modulace)
IRC	Incremental Rotary enCoder (Inkrementální rotační enkodér)
PLC	Programmable Logic Controller
LCD	Liquid Crystal Display
PM	Permanent magnet

1 Úvod

Fyzikální modely tvoří nedílnou součást výuky na vysokých školách. Na takovýchto modelech si student může ověřit své teoretické znalosti v praxi. Tato práce je zaměřena na návrh a realizaci takového modelu. TUL chce za podpory ESF projektu vytvořit tzv. iLab. Hlavním cílem projektu je ve vybraných laboratořích TUL vybudovat, a zprovoznit pracoviště osazená fyzikálními úlohami a modely uzpůsobenými pro kombinované využití. Především jsou využitelné pro běžnou výuku prezenčního i kombinovaného studia, ale zároveň nabízejí i možnost vzdáleného přístupu pro domácí přípravu studentů.

Dalším cílem je vybudovat centralizovaný mezifakultní portál přístupu k těmto vzdáleným pracovištím a příslušným studijním materiálům. Konkrétní úlohy budou vybírány a konstruovány tak, aby byly parametrizovatelné, vzdáleně konfigurovatelné, ovladatelné, bezpečné a využitelné studenty různých studijních oborů a fakult školy. Za tímto účelem vznikla i tato práce. Jedná se tedy o návrh a realizaci fyzikálního modelu pro práci se vzdáleným přístupem. Fyzikální model „suport modelu soustruhu“ by měl tedy splňovat podmínky pro začlenění do iLab.

Práce navazuje na již vytvořený model. Tento model umožňoval pohyb pouze v jedné ose. Přičemž byl osazen výkonným motorem a několika mechanickými spínači. Tato práce rozšiřuje tento původní model. Budoucí model by měl být schopen pohybovat plošinou ve dvou osách, která by měla sloužit k držení například laseru. Pomocí laseru by mohla obkreslovat obrazce nebo křivky.

Ovládání modelu by mělo být v přední řadě jednoduché. Panel s ovládacími prvky tedy bude umístěn na přední straně modelu. Ovládání modelu bude řešeno dvěma způsoby, a to lokálním (ručním) a externím. Lokální ovládání bude uzpůsobeno pro přímé ovládání uživatelem. Bude tvořeno přepínači a regulačními prvky. Externí ovládání bude implementováno pomocí elektrických signálů, které budou vstupovat respektive vystupovat z modelu, který tak bude schopen být řízen externím zařízením. Jelikož by model měl sloužit k výuce, je zapotřebí, aby umožnil zpracovávat a zobrazovat určitá data, například o výkonu motoru nebo poloze

plošiny. Veškeré informace o pohybu plošiny by měly být zobrazovány na displeji na předním panelu nebo na napěťových výstupech z modelu. Nedílnou součástí modelu bude řídicí jednotka, která bude řídit jednotlivé prvky osazené na modelu, počínaje motory. Tato jednotka by měla zvládat ovládání a zpracování dat ze senzorů a čidel. Z důvodu budoucího rozšíření modelu o vzdálený přístup, bylo nutné tuto jednotku vybrat tak, aby se dala rozšířit o modul pro správu vzdáleného přístupu.

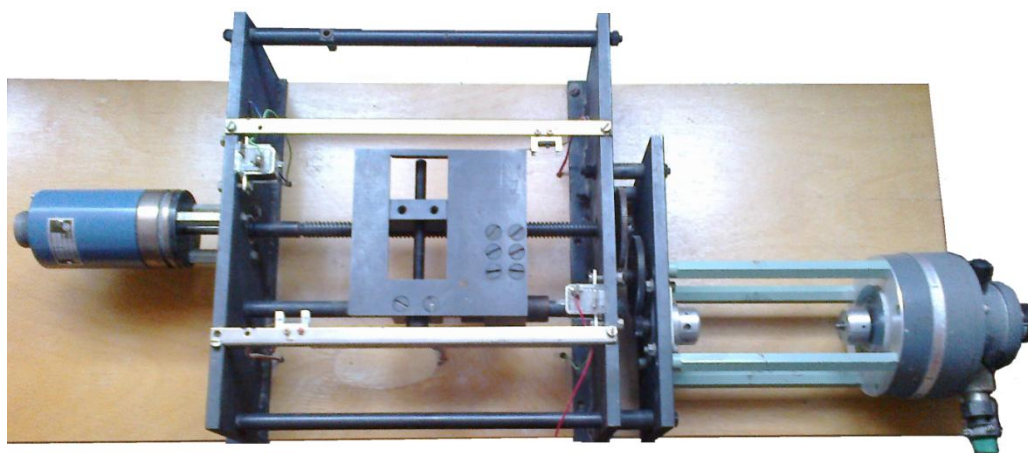
Model by měl být tedy schopen pomocí řídicí jednotky pohybovat plošinou ve dvou osách. Dále by měl zobrazovat informace o dění v modelu, jako je rychlost otáčení a poloha plošiny.

Tento projekt jsem si vybral především z důvodu mého zájmu o fyzické modely. Na technické univerzitě jsem měl v oblibě předměty, které obsahovali práci s některými modely. Práce navazuje na již vytvořený model, který ovšem nesplňoval veškeré podmínky. Což pro mě byla jistá možnost vytvořit vlastní model.

2 Původní stav systému

Laboratorní úlohy, které slouží jako výukový prostředek, musí splňovat určité parametry. Mezi ně patří možnost vzdálené konfigurace, ovladatelnost, bezpečnost, názornost, nízké provozní náklady a v neposlední řadě i energetická úspora. Toto byli tedy hlavní body při návrhu laboratorní úlohy.

2.1 Seznámení se s původním modelem



Obrázek 2.1: Původní model

Původní stav modelu, tak jak je znázorněn na obrázku 2.1, byl uzpůsoben pouze pro pohyb v jedné ose. Model byl vytvořen z kovových desek, které jsou přišroubovány k dřevěné desce. Tyto kovové desky slouží jako nosné stěny celého modelu, a ohraničují tak prostor pro pohyb plošiny. Mezi hlavními deskami tak vzniká prostor pro vznik os, po kterých se bude plošina pohybovat. Obě desky jsou navrtané tak, aby je bylo možno k sobě přišroubovat a docílit tím lepší stability. Desky jsou přichyceny příčnými tyčemi na krajích desek. V obou hlavních deskách jsou navrtané díry o větším průměru, které slouží k usazení ložisek. Pro pohyb jedné osy, je zde použita tyč s trapézovým závitem. Tato tyč je na obou stranách připevněna do ložisek. Na jedné straně je k ní připojeno IRC čidlo a na druhé ozubené kolo. V prostoru mezi hlavními deskami je na závitové tyči přidělaná plošina, kterou drží i podpurná tyč, která je hladká a slouží jen jako vodící a podpurný element. Jak bylo zmíněno, na

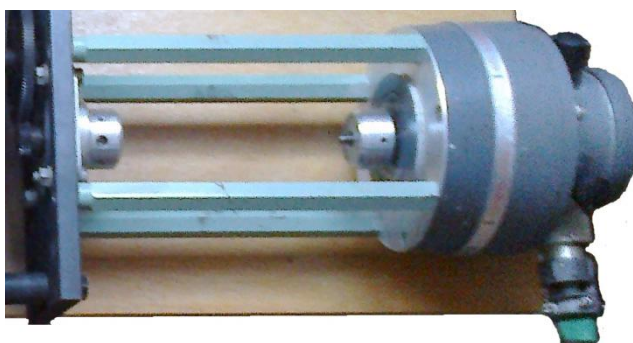
jednom konci je na závitovou tyč připojeno ozubené kolo. Toto kolo je součástí převodu, který dokáže zredukovat vysokou rychlost otáčení motoru a převést tak znatelně méně otáček na samotnou osu.



Obrázek 2.2: Převod na původním modelu

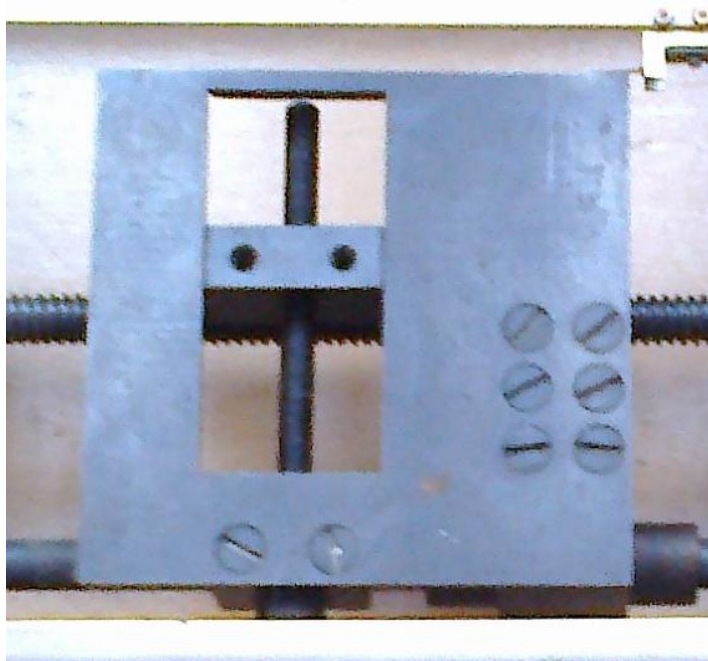
Převod je složen celkem ze čtyř ozubených kol a výsledný převod tak dokáže zredukovat otáčky na $1/36$ otáček motoru. Motor se tak musí otočit celkem 36krát, aby se závitová tyč otočila jednou.

Na tento převod je poté připojen hlavní motor. Motor je k modelu uchycen pomocí šestihranných ramen, které jsou přišroubovány k vedlejší desce na modelu. Jak je z obrázku 2.3 patrné, hřídel motoru není s modelem respektive s převodem nijak spojena. Zcela zde chybí spojka, která by sloužila ke spojení hřídele motoru s převodem.



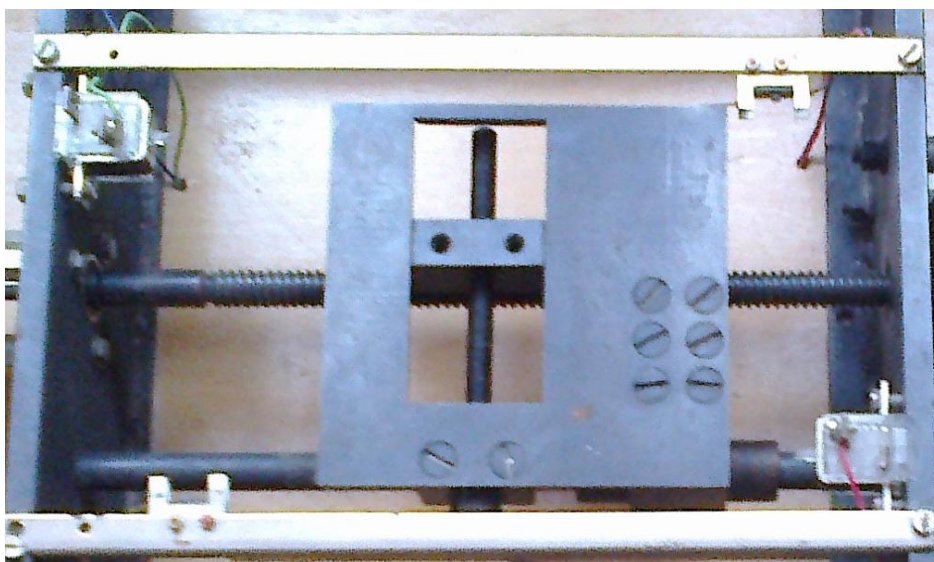
Obrázek 2.3: Uchycení motoru na původním modelu

Jak bylo zmíněno, na závitové tyči je připevněna plošina, na které se nachází druhá osa. Pohyb v druhé ose, je na modelu řešen pouze provizorně. Je zde použit šroub s jemným závitem, který je uchycen pouze na jedné straně. Na tomto šroubu je přidělena menší plošina. Při prvním pohledu je patrné (obrázek 2.4), že tento způsob byl pouze nastíněním toho, jak by mohla druhá osa vypadat.



Obrázek 2.4: Druhá osa na původním modelu

Pro usměrnění pohybu hlavní osy, jsou zde použity příčné prvky, na kterých jsou usazeny mechanické přepínače. Tyto přepínače by měly určit maximální rozsah pohybu v ose.



Obrázek 2.5: Příčné lišty s mechanickými prvky

Model je tak tedy osazen pouze motorem HSM-60, inkrementálním čidlem IRC 120 a mechanickými přepínači. Model nedisponuje žádným zdrojem napětí ani jinou

formou napájení. Nejsou zde použity žádné ovládací ani řídicí prvky. Model je tedy nefunkční.

2.2 Komponenty původního modelu

2.2.1 Servomotor HSM 60

Hlavní součástí stávajícího modelu je bezesporu servomotor HSM 60. Z obrázku 2.1 je patrné, že celý model byl konstruován právě k tomuto motoru. Vnější tvar servomotoru je válcový. Na přední straně kruhové příruby je vyvedena výstupní hřídel pro připojení zátěže. Na zadní straně je vyvedená druhá část hřídele, která může být využita pro připojení snímače rychlosti. Servomotor se elektricky připojuje pomocí kolíkového konektoru.



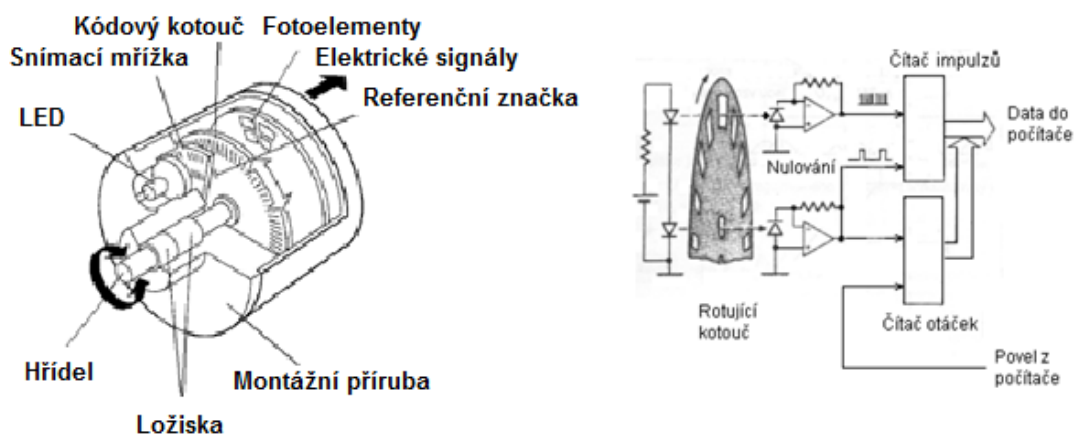
Obrázek 2.6: Motor HSM 60

Tabulka 1: Technické údaje HSM 60

Napětí U_N	V	12
Moment M_N	Nm	$\geq 0,108$
Otáčky	min^{-1}	~ 5320
Proud I_N	A	$\sim 7,5$
Výkon P_N	W	≥ 59
Účinnost	%	≥ 65

2.2.2 Inkrementální rotační snímač

Princip těchto snímačů spočívá ve clonění světelného toku mezi zdrojem světla a fotocitlivými prvky. Pro zjištění informace o rychlosti otáčení stačí zjistit počet impulzů za určitý časový úsek. Pro zjištění směru otáčení je nutno použít rotující kotouč, který má dvě řady otvorů, které jsou vůči sobě posunuty o polovinu šířky otvoru. Pro zjištění úhlu natočení má rotující kotouč ještě jeden otvor, který je určen pro generování nulového impulsu. Klasické uspořádání inkrementálního fotoelektrického snímače určeného pro snímání rychlosti otáčení je na obrázku 2.7.

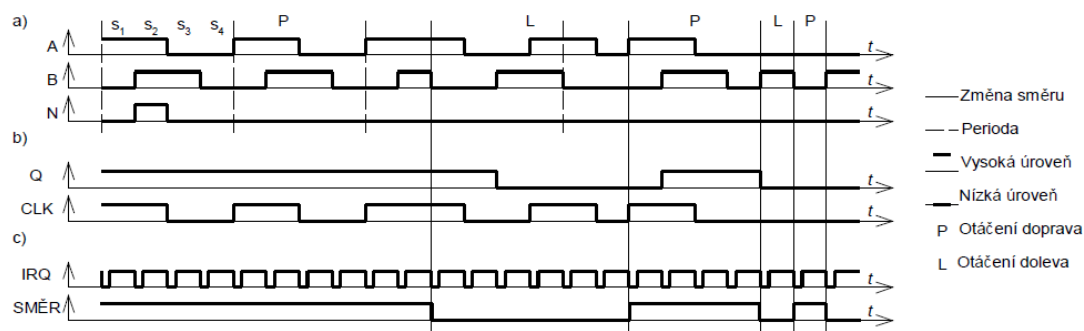


Obrázek 2.7: IRC čidlo se schématem zapojení

Princip inkrementálního čidla je založen na přerušování světelného paprsku mezi zdrojem a snímačem. K přerušování dochází pohybem kotouče (pravítka) s tmavými ryskami mezi zdrojem a snímačem. Posuv rotoru (pravítka) o krok K odpovídá jednomu přerušení paprsku a tím vygenerování impulzů výstupního tvarovaného signálu.

V typickém uspořádání je obrazec na rotoru rovnoměrný a skládá se z průhledných a neprůhledných proužků. Nad obrazcem jsou zpravidla upevněny dva snímače (A a B) vzájemně posunuté o hodnotu $n * K + K/4$, čímž se docílí zakódování směru otáčení do vzájemné fáze signálů A a B (Posuv snímače může být docílen polohou clony). Fáze může být buď $+90^\circ$ nebo -90° ($+270^\circ$). Průběh signálů

při otáčení čidla je znázorněn na obrázku 2.8. Pootočení o jednu čárku reprezentuje jedna perioda signálu A (B). Signály A a B bývají doplněny třetím kanálem N, který určuje počáteční polohu rotačního čidla a generuje se na něm pouze jeden impuls za jednu otáčku rotoru. Tento signál lze využít k indikaci nulové polohy čidla a ke kontrole správného počtu impulsů na otáčku.[1]



Obrázek 2.8: Průběh signálů při otáčení IRC

Snímače v takovýchto modelech hrají podstatnou úlohu. Původní model je osazen snímačem IRC 120. Tento snímač disponuje snímací mřížkou o 2500 ryskách. To znamená, že za jedno otočení indukuje 2500 náběžných hran a dokáže tak určit pootočení osy na přesnost 0.144 stupně. Díky této přesnosti je velice obtížné číst tuto hodnotu. Pokud bude motor pracovat na plný výkon, což je 5320 otáček za minutu (88 otáček za vteřinu), znamená to 220000 impulsů za vteřinu. Tento údaj nám určí, jak rychlý musí být procesor, aby dokázal číst hodnoty z toho inkrementálního čidla.



Obrázek 2.9: IRC 120

Tabulka 2: Technické údaje a pracovní podmínky IRC 120

Napájení	+5 V \pm 5 %
Max. vlastní spotřeba	100 mA
Výstupní signál	linkový budič RS422 – TTL kompatibilní
Max. zatížení výst. kanálů	\pm 20 mA
Výstupní frekvence	200 kHz
Maximální otáčky	10000 ot./min
Krytí	IP54
Pracovní teplota	0 až 60°C

2.3 Shrnutí původního modelu

Model je co do konstrukce velice robustní. Veškeré jeho části jsou vyrobené z kovu a je tak na svoji velikost velice těžký. Hlavní výhodou stávajícího modelu je zkonstruovaný pohyb v hlavní ose. Tato osa je zcela provozuschopná a není nutné ji nijak upravovat. Převod, který je použit na modelu, je rovněž velice precizně vyroben a není tak nutné do něho zasahovat. Uchytení motoru i IRC čidla je řešeno pomocí šestihranných ramen. Zatímco u IRC čidla je vyřešeno připojení na osu, u motoru chybí jakékoliv spojení s převodem. Největším mínusem modelu je pohyb v druhé ose. Tato osa, tak jak je vyrobena, je zcela neprovozuschopná a bude nutné tuto osu nahradit respektive vyrobit nově.

Model je tedy z větší části vyroben kvalitně, ovšem absence jakýchkoliv ovládacích, řídicích a napájecích prvků je znatelná. Model je v tomto stavu zcela nefunkční a bude použit jako výchozí bod mé práce.

Samotný model bude muset projít inovací. Bude se jednat o zkonstruování druhé osy na modelu, dále bude nutné navrhnout elektronické řešení pro celý model. Tento návrh v sobě bude zahrnovat nejen výběr elektronických prvků jako napájecí jednotka, ale především řídicí jednotku, která bude celý model řídit. Model tak bude nezbytné rozšířit o nové komponenty.

3 Navrhované řešení

Původní model nesplňoval požadované podmínky, výjimkou byla pouze konstrukce hlavní osy. Bude se tedy muset vyřešit nová konstrukce celého modelu, tak aby model byl schopen sloužit jako suport soustruhu. Konstrukce hlavní osy bude nutné upravit pro potřeby nového modelu. Pohyb v druhé ose bude nutné zkonstruovat nově, včetně plošiny, která se na ni bude nacházet. Tato plošina by měla být schopna uchytit například laser a obkreslit křivku nebo obrazec. Dále se pohybovat po obou osách na požadovaný bod tak, aby bylo docíleno přesného pohybu. Bude tedy nutné razantně zasáhnout do stávajícího modelu a sestavit novou konstrukci pro výsledný model.

3.1 Funkce modelu

Model by tedy měl splňovat funkce, které odpovídají suportu modelu soustruhu. Hlavní funkcí je především pohyb ve dvou osách a dosažení přesného umístění.

Původní model byl pro tento účel nedostačující. Bude zapotřebí konstrukčně vyřešit pohyb v druhé ose. Pro funkci suport modelu soustruhu je toto nezbytná součást. Jelikož byl původní model konstrukčně nedostatečně řešen, bude nutné do stávající konstrukce výrazně zasáhnout. Konstrukce druhé osy se pak bude implementovat tak, aby došlo co možná k nejefektivnějšímu využití. Zkonstruováním pohybu v druhé ose tak docílíme požadované funkce suport modelu soustruhu.

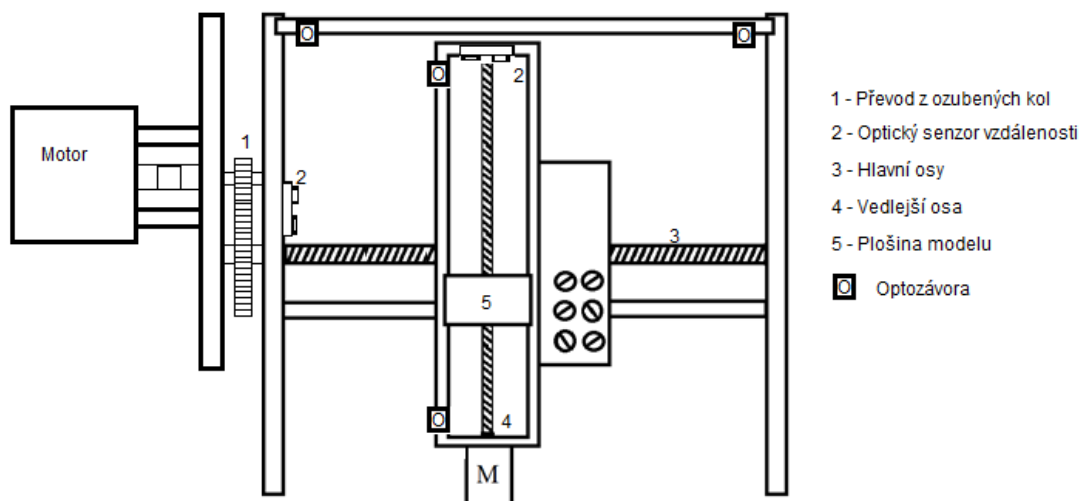
Samotný model ovšem potřebuje k pohybu pohon. Výsledný model by tedy měl disponovat motory o takových výkonech, aby bylo docíleno co nejplynulejších pohybů a zároveň bylo možné pohyb regulovat. Tyto motory nesmí být nijak napětově náročné, ale zároveň dostatečně silné. Pohonné jednotky by měly být připojeny na model způsobem, který nijak nebude limitovat plošinu v pohybu a bude respektovat rozložení celého modelu.

Motory budou ovládány pomocí řídicí jednotky, která vyhodnotí informace z ovládacích prvků a dokáže je převést na pohonné jednotky. Dále by měla zpracovávat informace ze senzorů, které se na modelu budou nacházet. Ovládací

prvky by měly splňovat funkční podmínky především na regulaci otáček a změnu směru. Ovládání modelu bude řešeno pomocí ručního ovládání, které umožní uživateli nastavení výchozího bodu. Dále bude řešeno pomocí elektrických vstupů a výstupů pro externí ovládání. Elektrické vstupy budou ovládat pohyb a směr os a výstupy budou sloužit k přenosu informací z modelu. Externí analogové vstupy by pak měly odpovídat napěťové úrovni 0 – 5 V. V tomto rozsahu by měl být dán směr i rychlost otáčení motoru. Jedním z výstupů z modelu bude analogová hodnota ze senzoru vzdálenosti, která bude informovat o pozici plošiny (v jedné ose). Dále budou na výstupu hodnoty z bezpečnostních prvků. Tyto výstupy budou nabývat hodnot logická 0 a logická 1 (0 V, 3,3 V). Neměl by chybět ani zobrazovací prvek, který bude uživatele informovat o poloze plošiny.

Důležitým aspektem suport modelu soustruhu je bezesporu přesnost. Plošina by měla být schopna pohybu do určitých bodů. Pohonné jednotky umožní pohyb v obou osách a ovládací prvky jejich ovládání. Pro přesné umístění plošiny v určeném bodě je nutné snímat vzdálenost plošiny od počátečního bodu tak, aby bylo docíleno optimální přesnosti. Řešením by byl inkrementální rotační snímač, který dosahuje velké přesnosti a dokáže určit i směr otáčení. Ovšem nedokáže při zapnutí určit aktuální polohu, vždy by se musel nejprve určit počáteční bod. Dalšími možnými řešeními jsou optický senzor vzdálenosti, ultrazvukový senzor, laserový senzor a jiné. Každý senzor pracuje na jiném principu, výběr tak bude ovlivněn požadavky modelu. Na modelu by neměl jeden z uvedených senzorů chybět. Díky těmto vlastnostem bude moci plošina dojet k určenému bodu s optimální přesností.

Nezbytnou součástí takového modelu musí být i bezpečnostní prvky, které brání zničení modelu. Jelikož je pohyb v ose limitován rozměry modelu, je nezbytné, aby se zabránilo dojezdu plošiny na samotný okraj modelu. Z toho důvodu je důležité obě osy vybavit prvky, které budou informovat řídicí jednotku o překročení maximální pozice v ose. Lze použít mechanické spínače nebo optické členy. Vybraný prvek by tak měl při průjezdu plošiny dostatečně rychle informovat řídicí jednotku, která zastaví pohyb v ose, nebo přímo sama odstaví napájení k motoru.



Obrázek 3.1: Schéma možného rozmístění komponent

Takto sestrojený model, by měl být schopen plně využít prostor pro pohyb plošiny. Měl by také vhodně informovat uživatele o jeho vlastnostech, jako je poloha plošiny, výkony motorů, popřípadě oznámit uživateli vzniklý problém.

4 Návrh mechanického a elektrického řešení

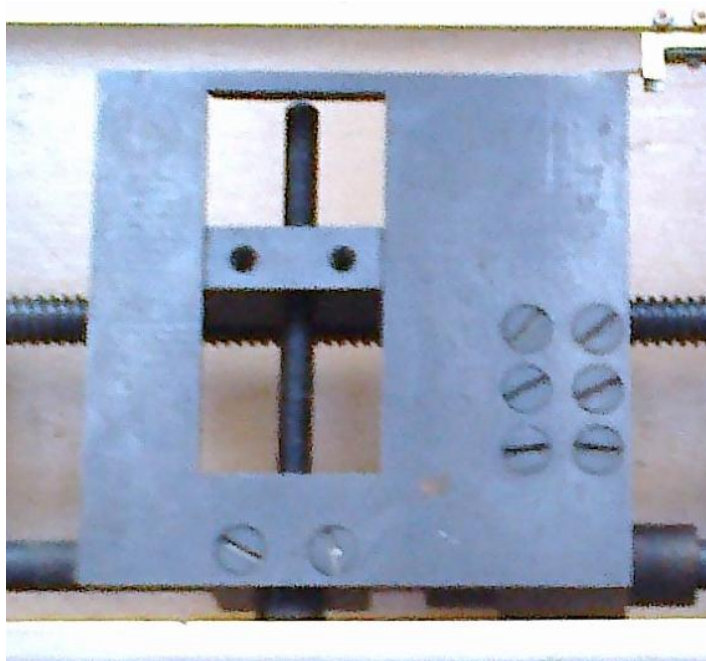
4.1 Mechanické řešení

Laboratorní úloha je složena z několika mechanických částí, je tedy nutné navrhnout takové řešení, aby co nejlépe vyhovovalo zadání. Původní model obsahuje několik mechanických částí, které byly popsány výše. Původní model, tak jak byl konstruován, byl vyhovující pouze pro pohyb v hlavní ose. Vedlejší osa byla pouze naznačena. Prvním krokem mechanického řešení bude sestrojení druhé osy.

4.1.1 Návrh sestrojení druhé osy

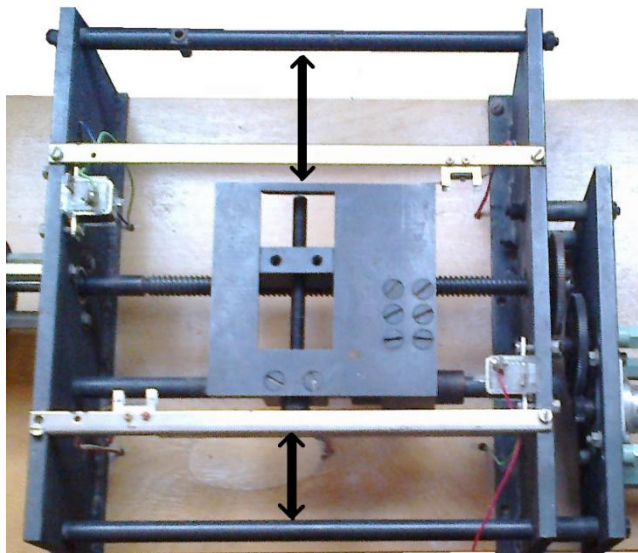
K původnímu modelu bude zapotřebí sestrojít druhou osu. Tato osa by ovšem měla respektovat rozmístění komponent na původním modelu. Nebylo tedy lehké navrhnout takové rozšíření, aby byl zásah do původního modelu, pokud možno, co nejmenší. Jelikož byl původní model sestaven pouze pro jednu osu, byly i jeho komponenty vybrány a poskládány tak, aby model pracoval efektivně. Bohužel to tedy znamenalo, že z důvodu rozšíření, bude nutné některé komponenty přesunout nebo dokonce vyměnit za jiné, které budou lépe pasovat do výsledného modelu. Rozšíření by tedy nemělo nijak zvlášť narušit funkčnost pohybu ve stávající ose. Dále by nemělo razantně změnit vzhled nebo prostorové uspořádání modelu. Bylo tedy nutné uvažovat o takovém rozšíření, které by nijak neomezovalo původní model. Návrh byl tedy už ve svém zárodku velmi limitován. Díky těmto všem omezením bylo rozšíření nutné implementovat na stávající plošinu, respektive ji upravit tak, aby obsahovala pohyb i v druhé ose. Znamenalo to tedy, že závitová tyč, po které se pohybovala plošina, zůstane a bude nosná pro obě osy. Jako nutnost se ukázalo upravit původní plošinu a přidat na ni pohyb v druhé ose. Tento návrh samozřejmě počítal s tím, že veškeré komponenty potřebné k pohybu v druhé ose, musí splňovat určité vlastnosti. Jelikož bude celou deskou s plošinou pohybovat pouze jeden motor, pohyb plošiny v druhé ose bude zajišťovat druhý motor. Ukázalo se jako velmi výhodné, že na původním modelu byl použit servomotor HSM 60. Tento motor je natolik výkonný, že by měl zvládnout uvést desku s tímto rozšířením. Stávající plošina bude nahrazena deskou, ve které bude zabudována druhá tyč s trapézovým

závitem, na niž bude přidělaná plošina. Díky tomuto návrhu budou moci oba motory pracovat současně, respektive bude umožněn pohyb v obou osách zároveň. Tento návrh by tak mohl splňovat podmínky. Model by díky tomuto rozšíření měl být schopen pohybovat plošinou v druhé ose, bez dopadu na velikost a umístění některých stávajících komponent. Při návrhu rozvržení druhé osy se vycházelo z již použitého systému (obrázek 4.1).



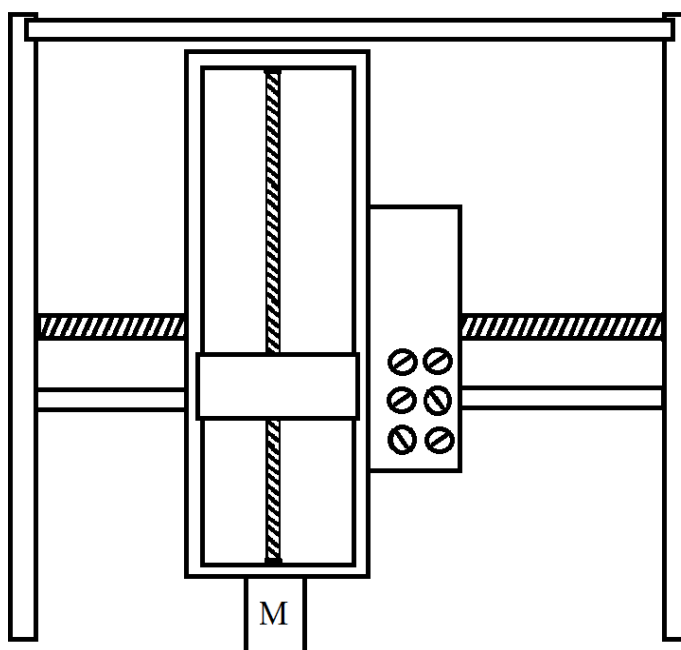
Obrázek 4.1: Původní pohyb v druhé ose

Při rozložení modelu tak jak je zobrazen na obrázku 2.1, je patrné že dosavadní uskupení pro druhou osu nevyužívá plně rozměry modelu. Proto už při prvním pohledu bylo zřejmé, že dojde k prodloužení druhé osy. Na obrázku 4.2 je patrné o jaký velký prostor se dala osa prodloužit.



Obrázek 4.2: Ukázka možného rozšíření

Na obrázku 4.2 jsou také zachycené vzpěry, které jsou umístěny podél hlavní osy. Nachází se na nich čtyři mechanické spínače. Tyto vzpěry se budou muset přemístit na kraje modelu.



Obrázek 4.3: Návrh rozšíření pro pohyb v druhé ose

Na obrázku 4.3 je nakresleno navrhované rozšíření pro pohyb v druhé ose. Rozdíly jsou zřejmé. Osa bude prodloužena a zúžena, tak aby bylo možné využít co největšího prostoru v modelu. Dále je zde zakreslen budoucí pohonný prvek, tedy motor, který by měl být pevně připevněn na této ose. Tento motor by měl splňovat podmínky na velikost. Toto kritérium bude hrát roli při samotném výběru pohonného prvku pro pohyb v druhé ose.

4.1.2 Ostatní mechanické komponenty

Po návrhu rozšíření modelu pro pohyb v druhé ose, bylo zapotřebí poskládat veškeré komponenty tak, aby si navzájem pokud možno nepřekážely. Dosavadní mechanické části, které se na modelu vyskytovaly, bylo nutné rozdělat. Jednalo se především o tyč s trapézovým závitem, která slouží k pohybu v hlavní ose. Tato tyč, byla na jednom konci zdeformovaná, a proto byla nutná oprava. Na obou koncích této tyče se nacházela ložiska, ve kterých byla usazena. Obě tyto ložiska nebyla v dobrém stavu, proto je bylo nutné vyměnit. Mezi další mechanické části patřilo ozubené soukolí, které bylo také uloženo v ložiskách, která nebyla v nejlepším stavu. Byly proto některé vyměněny. K tomuto soukolí je nutné připojit motor pomocí spojky. Jednalo by se o pružnou spojku, která by dokázala eliminovat nesusost.

Toto ozubené soukolí, se zdálo jinak v pořádku. Jelikož toto soukolí bylo v modelu použito pro regulaci otáček výkonného servomotoru, bude součástí i nového modelu. Soukolí bylo zapotřebí jenom vyčistit a promazat. Veškeré ostatní díly, které se na původním modelu vyskytovaly, byly opraveny, respektive upraveny tak, aby mohly být součástí nového modelu.

Některé části modelu, nevyhovovaly návrhu budoucího modelu a byly proto z modelu odstraněny.

4.2 Elektrické řešení

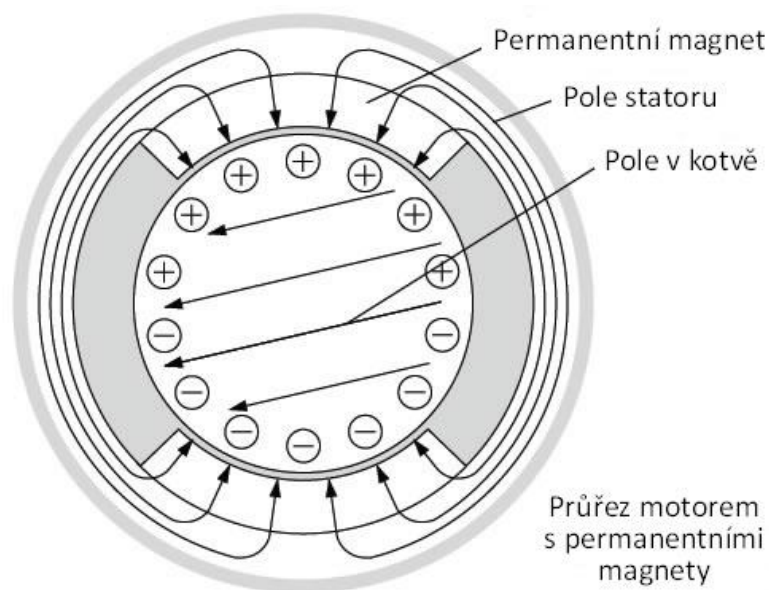
Při návrhu laboratorní úlohy se muselo vycházet z již zkonstruovaného modelu. Jelikož model byl osazen motorem HSM 60, inkrementálním čidlem IRC 120 a několika mechanickými přepínači, jednalo se o návrh celé elektroinstalace včetně jednotlivých komponent. Na modelu se nacházel motor HSM 60, jedná se o výkonný

motor s napájením 12 V a výkonem 60 W. Pro tento motor bylo zapotřebí adekvátního zdroje. Začátkem návrhu se stal výběr správného zdroje. Při přepočtu výkonu motoru, dostáváme zátěž na motoru 5 A.

Toto proudové zatížení jednoznačně určovalo, že zdroj musí být silnější, tedy 12 V a více jak 5 A. Návrh dalších komponent se tedy odvíjel od tohoto zdroje. To znamená, že i druhý motor pro druhou osu, by měl být napájen 12 V. Pro pohon druhé osy, byl zprvu zvažován obdobný motor jako na hlavní ose. Jelikož se jedná o motor větších rozměrů a vysokého výkonu, bylo od tohoto návrhu upuštěno. Při návrhu mechanické části druhé osy modelu, se začínal vykreslovat i návrh pohonné jednotky. Jelikož druhá osa v návrhu počítá s tyčí s trapézovým závitem, na které by byl přímo umístěn motor, nebylo nutné použít výkonný motor. Z popisu pohybu os v modelu vyplývá, že se celá druhá osa bude pohybovat po první ose. Motor tedy musí splňovat nároky na rozměry a váhu. Samozřejmostí je i dostačující výkon motoru. Díky těmto poznatkům už nebylo těžké vybrat správný model motoru. Jednalo by se o motor s permanentními magnety (PM)[2].

U motorů s permanentními magnety se pole tvoří mezi dvěma nebo více trvalými magnety, tolika jako je počet pólů. Nejčastější jsou různé typy magnetů feritových. Vzhledem k tomu, PM motor nemá vinutí pro tvorbu pole. Pro připojení motoru stačí dva vodiče. Charakteristika PM vykazuje vlastnosti, které jsou výhodné, což vedlo k tomu, že tento typ motoru se stal dominantním mezi stejnosměrnými motory s výkonem do 1 kW.

Nejvýznamnější vlastností PM motoru je, že při konstantním napětí, jsou otáčky a proud úměrné momentu. Je tedy jednoduché provádět výpočty a navrhnout, jak motor, tak i ostatní systémové komponenty. Je také snadné měřit otáčky a točivý moment za provozu.

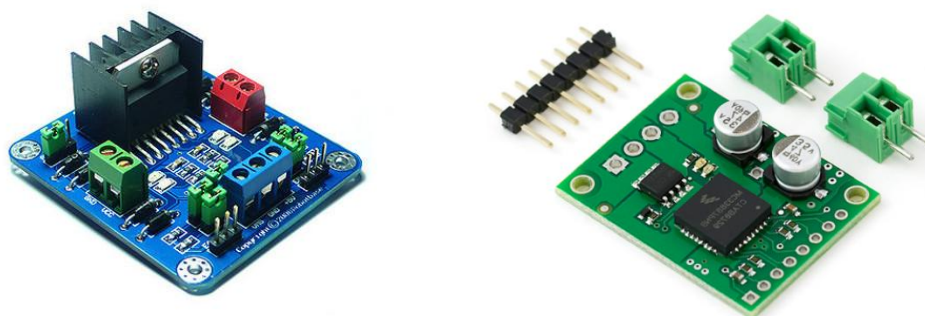


Obrázek 4.4: Průřez motorem s permanentními magnety

Aby model pracoval tak jak má, bylo zapotřebí dalších komponent. Bylo jasné, že na každé ose se bude muset nacházet bezpečnostní prvek, který zastaví motor, pokud přesáhne plošina danou vzdálenost. Jedná se o tzv. doraz. Tyto dorazy by v modelu měly být v každém směru jednotlivých os dva. Při návrhu bylo počítáno se dvěma dorazy na každé straně. První doraz by byl optický senzor, který by komunikoval s řídicí jednotkou, která by zastavovala motor. Druhý doraz by byl, připevněn za optickým senzorem. Jednalo by se o čistě mechanický doraz, který by mechanicky odpojil přívod napájení k motoru dané osy, ale pouze pro daný směr, tak aby bylo možné odjet s plošinou na opačnou stranu. Měl by vlastnost pojistky, kdyby optický senzor nefungoval nebo řídicí jednotka nezaznamenala tuto událost.

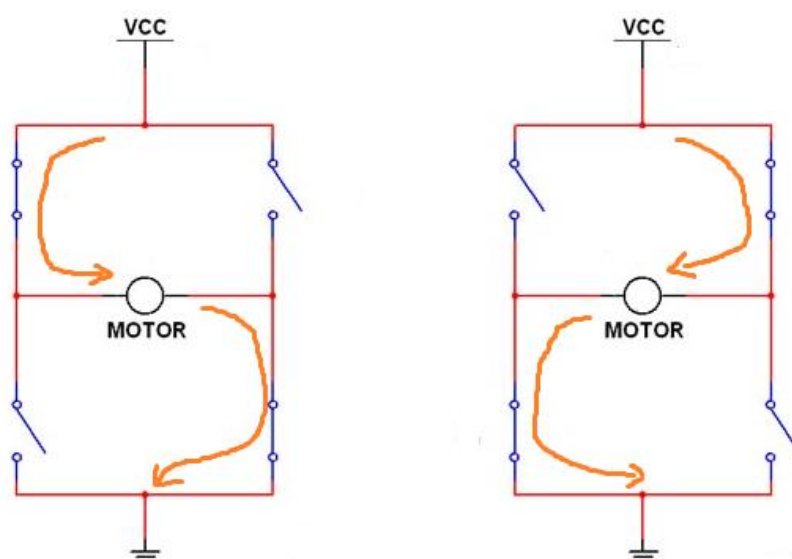
4.2.1 Ovládání motorů

Mezi další prvky modelu se řadí řídicí prvky motorů. Jako ovládací prvky byly nejprve zvažovány integrované obvody, které slouží přímo k těmto účelům jako třeba MC33887 nebo L298.

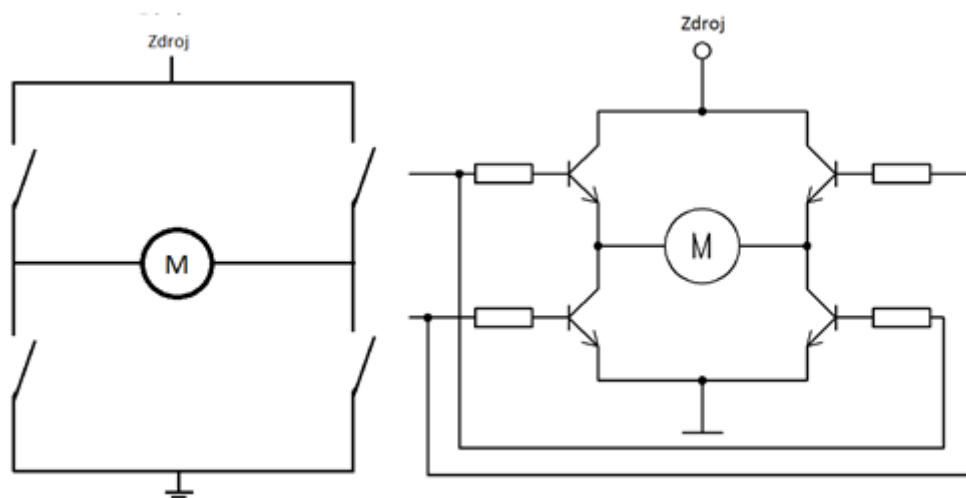


Obrázek 4.5: L298 a MC33887

Oba integrované obvody umožní měnit polaritu na motoru, čímž ovládají směr otáčení. Rovněž obsahují vstup pro změnu rychlosti otáčení PWM. Z hlediska využití se nejevily jako efektivní. Především jejich proudové zatížení bylo nedostačující. Návrh tak dostal jasné obrysy v podobě vlastního zapojení pro řízení motorů. Velký problém u pohybu v ose je pohyb tam a zpět. Tento pohyb je řešený u stejnosměrných motorů změnou polarity. Motor se tedy točí jedním směrem při kladném napětí a druhým směrem při záporném napětí. V elektronice je spousta řešení tohoto problému, opět ho lze vyřešit pomocí před vytvořených plošných spojů. Ovšem tato varianta je drahá a pro použití v modelu není lehké najít správný typ. Z tohoto důvodu bylo nutné nalézt jiné řešení. Model by využil pro změnu polarity tzv. H-můstek. Toto zapojení lze realizovat několika způsoby, ovšem princip je stejný. Jedná se o zapojení, které připomíná písmeno „H“. Podle toho, která větev je sepnuta, je na motor přivedeno buď kladné, nebo záporné napětí. Princip funkce je popsán na obrázku 4.6.



Obrázek 4.6: Princip H-můstku



Obrázek 4.7: Zapojení H-můstku pomocí přepínačů a tranzistorů

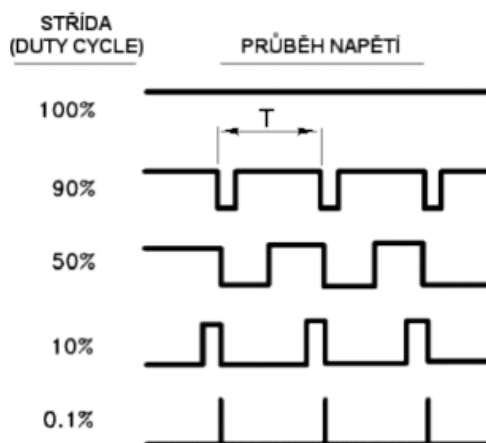
H-můstek lze realizovat více způsoby. Na obrázku 4.7 je znázorněn způsob pomocí tranzistorů a přepínačů. Oba způsoby mají své výhody i nevýhody. H-můstek tvořený přepínači sepne na motor napětí v plném rozsahu zdroje. Tento způsob tak bude muset obsahovat regulační prvek pro korekci napětí na motoru, nejlépe MOSFET tranzistor s budičem. Druhý způsob, který je tvořen tranzistory nemusí

obsahovat další komponenty. Tranzistory lze spínat signálem, čímž docílíme změny směru. Pomocí tohoto způsobu lze přímo ovládat i regulaci výkonu motoru. Samotný způsob bude vybrán podle dostupných prostředků. Výsledný model bude tedy používat H-můstek, který umožní změnu směru otáčení.

Důležité u ovládání motoru je především regulace otáček. Tedy zvyšování a snižování rychlosti otáčení motoru. Motor je napěťově řízený tedy jeho výkon lze regulovat přímo napětím. Použit by byl například napěťový dělič s potenciometrem, který by snižoval napětí na motoru. Pro H-můstek se nedá tento způsob efektivně využít a proto je tato varianta nepoužitelná. Aby bylo docíleno co možná nejefektivnějšího využití výkonu motoru, bude se muset napájet maximálním napětím. Změnu rychlosti otáčení lze provést přerušováním maximálního napětí v krátkých časových intervalech. Takovému způsobu se říká PWM.

Pulzně šířková modulace (PWM) je diskrétní modulace pro přenos analogového signálu pomocí dvouhodnotového signálu. Jako dvouhodnotová veličina může být použito například napětí, proud, nebo světelný tok. Signál je přenášen pomocí střídavy. Pro demodulaci takového signálu pak stačí dolnofrekvenční propust. Vzhledem ke svým vlastnostem je pulzně šířková modulace často využívána ve výkonové elektronice pro řízení velikosti napětí nebo proudu. Kombinace PWM modulátoru a dolnofrekvenční propusti bývá rovněž využívána jako levná náhrada D/A převodníku. Přenosovou cestou může být pevné drátové spojení nebo bezdrátové spojení, kdy se data přenášejí vzduchem např. při IR komunikaci.

Jde tedy o signál s konstantní periodou T , kde se mění střída napětí (tj. poměr délky impulzu k délce mezery uvažovaný v jedné periodě). Střída se uvádí někdy jako poměr (1:1, 2:1, 1:5 atd.), kdy je nutné uvést, které číslo představuje impulz a které mezeru. Někdy se střída vyjadřuje procentuálně (100 %, 50 %, 0.1 % atd.), kde 100 % představuje ideální poměr 1:0, 50 % poměr 1:1 atd. Poměr délky impulzu k délce mezery bývá v zahraniční literatuře nazýván Duty Cycle. [3]



Obrázek 4.8: Ukázka PWM

Pulzně šířkovou modulaci ve spojení s jakýmkoliv procesorem je možné použít v různých aplikacích. Pomocí PWM lze řídit stejnosměrné motory, zpracovávat data z inteligentních snímačů teploty atd. I z těchto důvodů bude rychlost otáček regulována pomocí PWM.

4.2.2 Řídící jednotka

Nejdůležitějším prvkem bude řídící jednotka. Bylo zapotřebí, aby tato jednotka dokázala pracovat rychle a dokázala ovládat oba motory. Při výběru této jednotky byl velký důraz kladen na její vlastnosti. Výběr jednotek byl důkladný, ovšem z hlediska využití v modelu se začal zužovat na konkrétní jednotky. Mezi prvními možnostmi se objevilo řízení pomocí PLC jednotky. PLC jednotek je několik druhů. První byly vybrány jednotky CLICK a DIRECT LOGIC od firmy Koyo. Tyto PLC jednotky jsou výkonné a dokázaly by ovládat tento model, ovšem cenová relace obou druhů je vysoká. Mezi další možnosti patřily vývojové kity, které nedosahují svými vlastnostmi jednotky PLC. Jako řídící jednotka do laboratorní úlohy, by ovšem použitelné byly. Do výběru patřili Arduino a ChipKit. Obě platformy disponují velkým množstvím modelů. Některé modely disponují velkým množstvím vstupně/výstupních portů, což je pro tento model nezbytné. Výběr se tak zúžil na tyto vývojové kity.

Arduino

Arduino je otevřená elektronická platforma, založená na uživatelsky jednoduchém hardwaru a softwaru. Arduino je určeno pro kutily, umělce, designéry, tedy pro každého, koho zajímá vytváření interaktivních objektů nebo prostředí.

Arduino je schopné vnímat okolní prostředí pomocí vstupů z rozličných senzorů. Zároveň může ovlivňovat okolí připojenými LED, motorky a dalšími výstupními periferiemi.



Obrázek 4.9: Arduino UNO

Mikroprocesor na desce Arduina se programuje pomocí speciálního Arduino programovacího jazyku (založený na jazyku Wiring - podobný C) ve vlastním Arduino vývojovém prostředí. Projekty založené na Arduinu mohou jednoduše komunikovat se softwarem na stolním počítači nebo notebooku.

Desky Arduino je možné sestavit ručně nebo koupit již sestavené a otestované. Software lze stáhnout zdarma. Návrh plošného spoje je k dispozici pod otevřenou licencí, lze je tedy upravovat podle potřeb.[4]

Hlavní výhody:

- jednoduché programování
- jednoduché zapojení
- nízká cena oproti jiným kitům
- spousta návodů
- uživatelská komunita
- platformní nezávislost (Win/Linux/MacOS/...)

ChipKIT

Vznik vývojové platformy ChipKIT byl inspirován vývojovou platformou Arduino. Jelikož bylo inspirováno Arduinem, jsou zde patrné podobnosti mezi oběma výrobci. Stejně jako Arduino je i ChipKIT vývojová platforma pro pokročilé modeláře, ale i pro začátečníky každého věku. ChipKIT dokázal skloubit nízkonákladový hardware s programem pro jeho naprogramování, který je volně dostupný pro každého. [5]



Obrázek 4.10: ChipKit Uno32

Inspirace Arduinem nepřinesla jen novou platformu, ale díky vývojářům, kteří dříve pracovali u konkurenčního Arduina, také kompatibilitu mezi ChipKIT a

Arduinem. Lze tedy jednoduše zkombinovat kit Arduino s ChipKITem. Když tedy vývojáři vymýšleli tento kit, byla jejich hlavní myšlenka, aby nová platforma byla lepší než Arduino. Jak dále ukazuje tabulka 3, jsou zde patrné rozdíly.

Arduino i ChipKit vyrábí hned několik typů vývojových desek. Od základních modelů až po speciální kity, sloužící k rozšíření základních modelů. Jelikož model bude disponovat velkým množstvím vstupně/výstupních zařízení byl výběr zúžen na jednu desku od obou výrobců, Arduino Due a ChipKit MAX 32.

Tabulka 3: Porovnání Arduino Due a ChipKit MAX32

	ARDUINO DUE	CHIPKIT MAX32
CENA	\$55	\$50
RYCHLOST CPU	84 MHZ	Až 80 MHZ
RAM	96 KB	128 KB
EXTERNÍ NAPÁJENÍ	Ano	Ano
I/O	52	83
SÍŤ	Ne, ale možné	Ne, ale možné
I2C A SPI	Ano (3.3 V, + 5 V)	Ano (3.3 V, + 5 V)
ODOLNÝ	Ano	Ano
POTŘEBNÝ HARDWARE	USB kabel	USB kabel

Obě desky mají své výhody i nevýhody, výběr bude ovšem podmíněn především potřebami samotného modelu. Řídící jednotka musí být schopna efektivně řídit motory, komunikovat se senzory a zobrazovat příslušné informace. I z těchto důvodů byla zvolena jednotka Arduino Due, která by měla spolehlivě ovládat budoucí model.

4.2.3 Ovládání modelu

Posledním krokem návrhu bylo vyřešit samotné ovládání modelu. Ovládání modelů bude řešeno dvěma způsoby a to uživatelským a externím. Přepínání mezi těmito režimy bude řešeno dvoupolohovým přepínačem.

Prvním řešením je uživatelské rozhraní, které k regulaci otáček bude využívat otáčecího prvku. Otáčením by se regulovala rychlost. Jednalo by se například o potenciometr, který by měnil svůj odpor, což by vyhodnocovala řídící jednotka. Pro přepínání směru by byl vhodný dvoupolohový přepínač, který by byl připojen k řídící jednotce, která by vyhodnocovala jeho polohu, která by určovala směr pohybu. K ovládacím prvkům se bude řadit i zobrazovací jednotka. Před výběrem zobrazovací jednotky, bylo důležité uvědomit si, co vše se bude zobrazovat. Model by měl být schopen zobrazit aktuální polohu plošiny. Dále pak výkony motorů se směrem otáčení a v neposlední řadě případné omezení osy. Informací, které je potřeba zobrazit uživateli, je mnoho. Výběr zobrazovacího prvku tedy musí podléhat těmto kritériím. Použit by měl být LCD displej s odpovídajícím počtem znaků.

Druhým řešením bude externí ovládání pomocí napět'ových signálů. Regulace a směr otáčení budou řešeny pomocí napět'ového signálu. Přivedené napětí bude ideálně v rozsahu 0 – 5 V. Směr bude určen rozdělením napět'ové úrovně do dvou částí. Úroveň 0 – 2,3 V by indikovala jeden směr a úroveň 2,7 – 5 V směr druhý. Regulace otáček by pak odpovídala rozsahu těchto úrovní. Řídící jednotka bude vyhodnocovat vstupní signály a ovládat tak oba motory. Pro externí způsob ovládání se nepočítá se zobrazovacím prvkem, proto je nutné přenést informace k externímu zařízení jinak. Proto bude nutné mít výstupní piny. Na těchto pinech bude informace o pozici plošiny a také informace z dorazů, které určují maximální pozici plošiny. Informace bude ve formě napět'ového signálu respektive úrovně.

4.2.4 Měření vzdálenosti

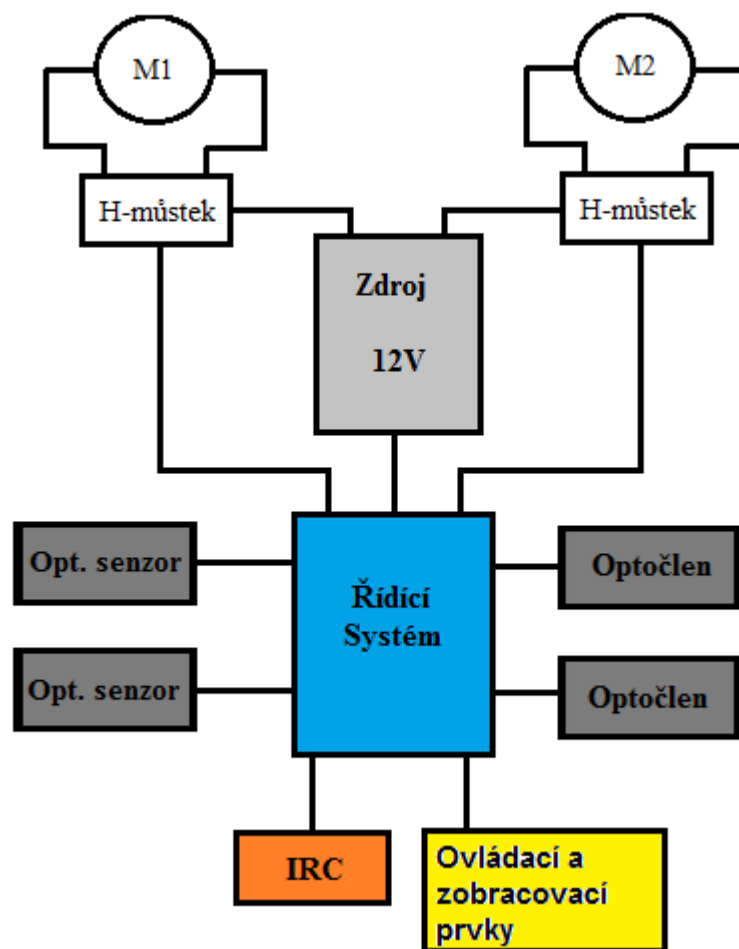
Výsledný model se neobejde bez prvku, který by určoval polohu plošiny. Výběr tohoto prvku je podmíněn rozměry modelu. Senzor by měl dosahovat optimální přesnosti, která by měla splňovat nároky modelu. Uvažovanými senzory byly optický, ultrazvukový a laserový. Ultrazvukový senzor využívá odrazu vysokofrekvenčních zvukových vln. Výpočet vzdálenosti je pak vypočítán podle časové prodlevy mezi vysláním a přijutím odrazu zvukové vlny. Oproti tomu laserový senzor využívá princip triangulace. Senzor vysílá laserový paprsek, jehož odraz je zachycen na snímací čočce. Mění-li objekt svou pozici, mění se i poloha dopadajícího světla na snímací čočku. Optický senzor vzdálenosti využívá odraz světelného paprsku,

většinou z infračervené diody. Odraz světla je vyhodnocován snímačem, který měří úroveň amplitudy nebo světelný výkon a porovnává je s nastavenou hodnotou. Nejvhodnějším z těchto senzorů se jevil optický senzor, jednalo se především o cenu a požadované vlastnosti.

4.2.5 Bezpečnostní prvky

Pro bezpečnější využití je nezbytné model osadit prvky, které budou chránit samotný model proti poškození. Zejména se jedná o určení maximálních dojezdů plošiny. Dojezd plošiny by tak neměl přesáhnout určitý bod. K hlídání této pozice by mohl být použit senzor pro měření vzdálenosti. Řídící jednotka by tak mohla z načtených hodnot určit pozici a v případě dosažení maximální vzdálenosti pohyb zastavit. Toto řešení však není nejoptimálnější, proto bude nutné zvážit další bezpečnostní prvek, který by byl přesnější. Variantou byly opět ultrazvukový a laserový senzor, oba tyto senzory jsou, ale velikostně nepoužitelné. Nejoptimálnějším řešením by byl optočlen využívající paprsek, který je zachytáván. Při přerušení toho paprsku by došlo k přerušení pohybu. Výběr tedy padl na optický prvek. Jednalo by se nejlépe o optickou závoru, jejíž hodnotu by načítala řídící jednotka a zastavila by tak pohyb v ose. Ovšem i toto řešení není úplně optimální, je zde možnost chyby řídící jednotky, která by nemusela zaznamenat tuto událost. Z těchto důvodů bude model osazen mechanickými přepínači, které by nekomunikovaly s řídící jednotkou a odstavily by přívod napětí pro pohyb v ose. Díky těmto bezpečnostním prvkům tak bude model schopen pracovat bezpečně a nedojde tak k poškození modelu.

4.2.5 Schéma zapojení



Obrázek 4.11: Návrh elektrického zapojení

Na obrázku 4.11 je znázorněn prvotní návrh zapojení. V tomto návrhu se počítá se zdrojem stejnosměrného napětí 12 V. Dále jsou zde zvažovány dva H-můstky, které by měnily polaritu na motorech, čímž docílíme změny směru. Nachází se zde i řídicí jednotka, která je základním kamenem tohoto návrhu. K ní jsou připojena i veškerá zařízení sloužící ke správnému pohybu plošiny, tedy optočleny, optické senzory, ovládací a zobrazovací prvky a IRC čidlo.

5 Realizace modelu

5.1 Mechanické součástky

Při návrhu mechanického a elektrického řešení se rýsovaly jednotlivé komponenty. Mechanické komponenty byly vybírány už při samotném návrhu. Mechanických částí tedy nebylo zapotřebí tolik. Jednalo se především o výměnu ložisek, výběr pružné spojky a samotnou realizaci pohybu v druhé ose. Důležitou částí uchycení motoru k hlavní ose modelu je pružná spojka. Jedná se o LK4-C16 pružná spojka 1,4Nm, která disponuje plastovým středem pro kompenzaci nesouososti a radiální vůle. Omezuje tak rezonance a tlumí přenos vibrací.



Obrázek 5.1: Ložisko LK4-C16

Pro pohyb v druhé ose byla zvolena tyč s trapézovým závitem o průměru jeden centimetr a stoupáním tři milimetry. K této tyči byl zvolen vhodný protikus, tedy matice. Matice byla zvolena kulatá.



Obrázek 5.2: Tyč s trapézovým závitem a matkou

Oba konce této tyče byly upraveny tak, aby je bylo možné zasadit do modelu. Na obou stranách je vybavena ložisky. Na jedné straně je opracovaná tak, aby bylo možné přímé spojení s motorem pomocí spojky.

Další mechanické změny byly provedeny ze součástek, které byly použity na stávajícím modelu. Po mechanické části tak byl model připraven.

5.2 Elektronické součástky

Elektrické řešení bylo, ve srovnání s mechanickým o poznání, těší. Při návrhu bylo zapotřebí zohlednit nejen funkčnost daných komponent, ale také požadavky na vstupně výstupní komunikaci s řídicí jednotkou. Bylo tedy zapotřebí vybrat takové komponenty, které by dokázaly efektivně pracovat na modelu a bezproblémově komunikovat s řídicí jednotkou.

První volbou byl zdroj. V návrhu bylo zmíněno, že zdroj by měl být 12 V a více než 5 A. Zvolen byl zdroj, který disponuje konstantním napětím 12 V a proudovým zatížením až 12 A. Tento zdroj je vhodným pro tento model a měl by být bez problémů schopen napájet veškeré elektrické komponenty na modelu. Všechny elektronické součásti však nejsou napájeny stejným vstupním napětím. Proto bude nutné upravit napětí pro některé komponenty tak, aby vše fungovalo pouze s tímto jedním napájecím zdrojem.



Obrázek 5.3: Zdroj 12 V 12 A

Dále bylo potřeba vybrat řídicí jednotku. Jak bylo psáno výše, výběr správné řídicí jednotky nebyl snadný. Na trhu je mnoho výborných jednotek, které by bylo možné zakomponovat do modelu. Při výběru byl velký důraz kladen na

vstupně/výstupní porty, které jsou zapotřebí pro komunikaci s jednotlivými komponentami na modelu. Výběr byl zúžen na dvě jednotky a to na Arduino Due a ChipKit Max32. Rozdíly mezi jednotkami jsou tak minimální, že k výběru dopomohly pouze drobné detaily. Jelikož kity ChipKit disponují procesorem o rychlosti max. 80 MHz a až moc velkým počtem vstupně/výstupních pinů, které by byli nevyužity, Arduino se ukázalo jako lepší volba. V modelu bude použita jako řídicí jednotka, vývojová deska Arduino Due.

5.2.1 Arduino Due

Due je první karta Arduino, na níž je umístěn 32bitový řadič. Vysoká taktovací rychlost 84 MHz ve spojení s celkem 54 I/O piny umožňuje realizaci značně rozsáhlých projektů. Díky bohatým knihovnám Arduino a kompatibilitě s většinou karet Arduino Shield zůstává současně zachována jednoduchost běžných systémů Arduino.



Obrázek 5.4: Arduino Due

K 54 pinům mimo jiné patří 12 PWM výstupů a 12 analogových vstupů, 4 UARTy, 2 TWI (I²C) a dvojitý digitálně-analogový měnič, který je zvláště vhodný pro stereo reprodukci. Paměť 512 KB FLASH a 96 KB SRAM je přizpůsobena

vysoké rychlosti procesoru. Dále lze využít stejnosměrné napětí 3,3 V a 5 V, které mohou napájet některé elektrické komponenty.

Aby model splňoval podmínky pro zařazení do iLab, měla by zde být možnost ovládání se vzdáleným přístupem. Výběr řídicí jednotky byl samozřejmě ovlivněn i budoucím rozšířením tak, aby umožňoval ovládání se vzdáleným přístupem. I proto byla vybrána deska Arduino. Tuto desku lze jednoduše rozšířit o Ethernet Shield. S pomocí Ethernet Shieldu lze připojit Arduino k síti pomocí klasického RJ-45 konektoru. Pomocí tohoto rozšíření můžeme snadno vytvořit z Arduino i jednoduchý server.



Obrázek 5.5: Ethernet Shield pro Arduino Due

5.2.2 Motor P2MO476 a GM25-370CHV-130-R

Dalším hlavním prvkem jsou motory, které budou použity pro pohon obou os. Z důvodu technické závady bylo nutné nahradit původní motor HSM 60. Bylo tedy zapotřebí vybrat motor, který by se podobal původnímu motoru. Z těchto důvodů byl vybrán PM motor a to P2MO476. Tento motor je oproti HSM 60 poměrně menší výkonem i rozměry. Přesto by měl být zcela dostačující pro potřeby modelu.



Obrázek 5.6: Motor P2MO476

Tabulka 4: Technické údaje motoru P2MO476

Výkon	W	25
Napětí	V	12
Otáčky	1/min	5800
Hmotnost	Kg	0,5
Rozměry	mm	ϕ 45 x 138

Při výběru druhého motoru se vycházelo z návrhu druhé osy, kde bylo zmíněno, že výběr motoru bude odpovídat jistým kritériím. Těmito kritérii byly velikost, váha a výkon. Jelikož bude motor připevněn přímo na osu, je zapotřebí, aby nebyl příliš rozměrný. Díky přichycení na osu, se bude také pohybovat v případě pohybu hlavní osy. A posledním kritériem byl výkon. Z důvodu přichycení motoru přímo na osu, zde není možné vytvořit případné soukolí pro regulaci otáček. Proto je motor potřeba vybrat tak, aby výkon byl dostačující a na druhou stranu ne příliš výkonný. Jako druhý motor byl zvolen motor GM25-370CHV-59.2-R. Jedná se o motor s převodovkou, není tak výkonný ani vysokootáčkový jako P2MO476.[6]



Obrázek 5.7: Motor GM25-370CHV-59.2-R

Tabulka 5: Technické údaje motoru GM25-370CHV-59.2-R

Výkon	W	10
Napětí	V	12
Otáčky	1/min	88
Hmotnost	Kg	0,2
Rozměry	mm	ϕ 24,4 x 55,9

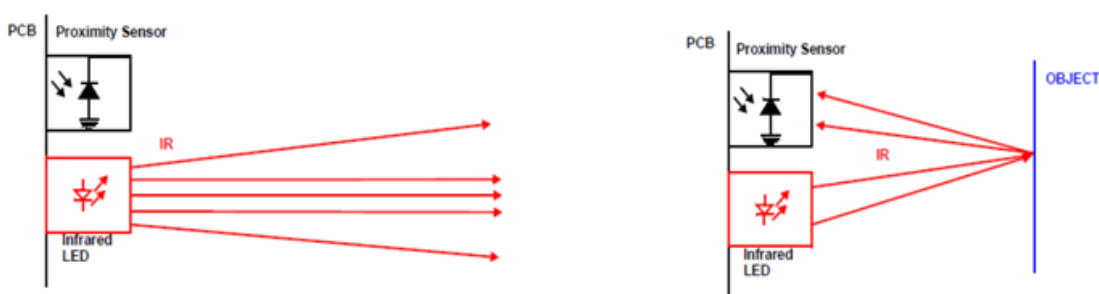
5.2.3 Optické čidla a senzory

Další důležitou vlastností modelu, bude určení polohy. Z toho důvodu bude model osazen optickými senzory na měření vzdálenosti. Jelikož rozměry modelu nejsou malé, ale ani zdaleka tak velké, vybrán byl optický senzor SHARP 0A41SK. Jedná se o senzor na měření vzdálenosti v rozsahu 4 – 30 cm.



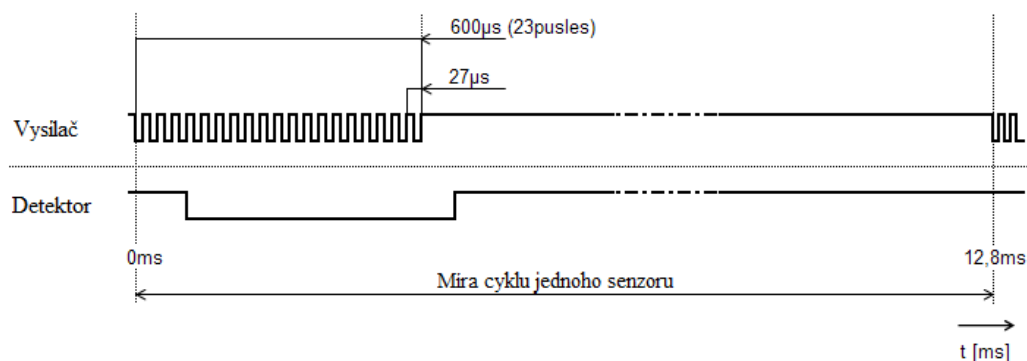
Obrázek 5.8: Optický senzor Sharp 0A41SK

Senzor pracuje na principu sledování odražení infračerveného světelného paprsku od případného objektu. Úspěšnost detekce objektu závisí na tom, jak moc pohlcuje jeho povrch světlo o vlnové délce 940 nm a jak moc ho odráží zpět k senzoru. Senzor je tedy složen především ze dvou komponent. Obsahuje infračervenou diodu, která je použita jako zdroj světla a dále senzor, který detekuje odražené paprsky.[7]



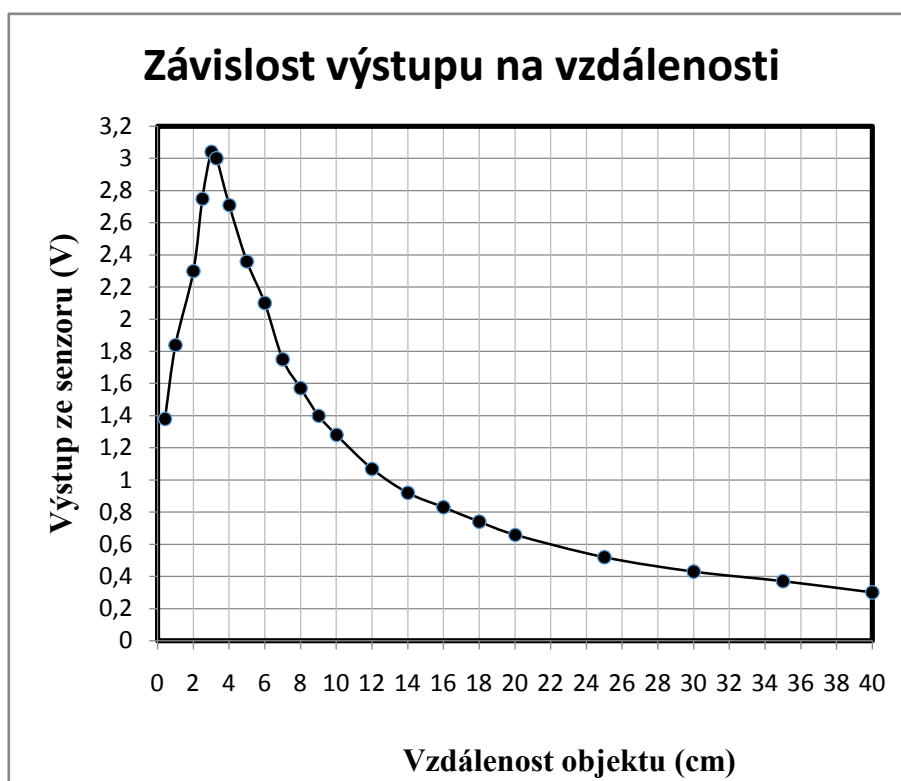
Obrázek 5.9: Princip optického senzoru

Aby se zamezilo příjmu parazitního signálu, což by mohlo způsobit falešnou detekci objektu, je vysílaný světelný paprsek tvořen pulzy o frekvenci 38 kHz. Právě na tuto frekvenci je citlivý přijímač, což má za následek snížení pravděpodobnosti omylu.



Obrázek 5.10: Princip měření optického senzoru

Senzor tedy poskytuje informaci o vzdálenosti prostřednictvím napěťové úrovně. Na grafu 1 je znázorněna jeho výstupní charakteristika vzhledem ke vzdálenosti od objektu.

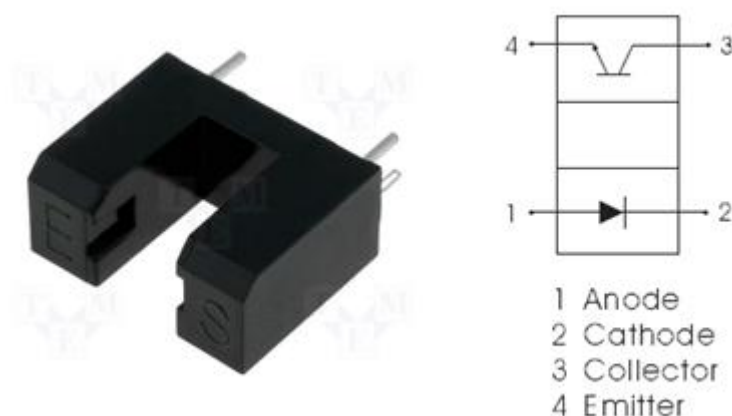


Graf 1: Průběh napětí na výstupu v závislosti na vzdálenosti

Jak je tedy názorně vidět z grafu 1, výstupní napětí se mění podle vzdálenosti od objektu. Jelikož v malé vzdálenosti odražený paprsek na senzor pole nedopadá, snímač situaci vnímá, jako by byl měřený objekt v nekonečnu a výstupní

napětí klesne na minimální možnou mez 0,4 V. V našem případě, je snímač připevněn cca 4 cm od maximální pozice plošiny tak, aby se plošina nedostala do kritické meze. Jelikož není výstupní charakteristika lineární, bude nutné řídicí jednotkou přepočítat napětíovou hodnotu na příslušnou vzdálenost v centimetrech. Jelikož je tento senzor stavěný na relativně větší vzdálenost, dochází zde k chybám na výstupu. Toto je ošetřeno řídicí jednotkou, která vždy načte tři údaje a až podle jejich hodnot vypíše vzdálenost.

Pro pohyby obou os do maximálních poloh, bude zapotřebí jednoznačně určit, kde se nachází bod, který je pro osu maximálně dosažitelný. K tomu by samozřejmě mohl posloužit senzor SHARP 0A41S, díky kterému by řídicí jednotka mohla zastavit pohyb. Ovšem jak je zmíněno výše, tento senzor není úplně přesný, respektive dochází zde k chybám při načítání hodnot. Z toho důvodu je zapotřebí zvolit jiný způsob. Jako nejefektivnější způsob se jevilo použití optočlenu se štěrbinovou optozávorou. Tento optočlen by měl být schopen komunikovat s řídicí jednotkou. Zvolen byl HINT-4300. Jedná se o optočlen vybavený infračervenou diodou a fototranzistorem. Po přivedení odpovídajícího proudu na diodu, se dioda rozsvítí, fototranzistor se tak otevře a protéká jím proud. V případě clony se fototranzistor rozezne a dojde tak přerušení toku proudu. Tento efekt zaznamená řídicí jednotka a dokáže tak zastavit pohyb v ose.

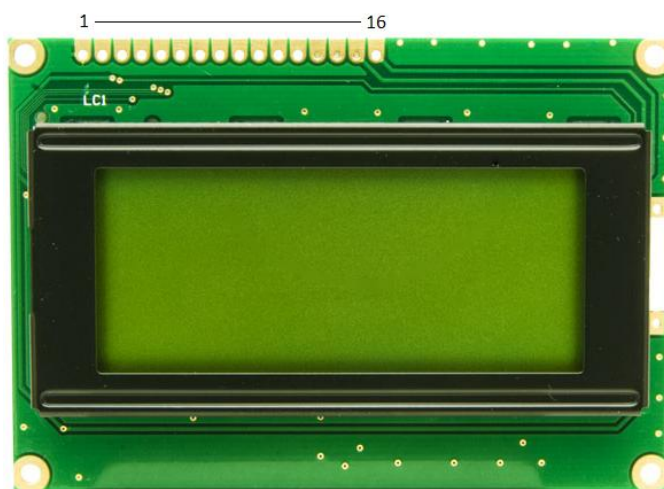


Obrázek 5.11: Optočlen HINT-4300

5.2.4 LCD displej

Zobrazovacím prvkem modelu bude LCD display. Tento display by měl být schopen zobrazovat polohu plošiny a momentální výkon motorů. Jelikož se jedná o hodně informací, zvolen byl RC1604A-YHY-ESX. Jedná se o LCD displej se čtyřmi řádky a šestnácti sloupky. Je postavený na LSI kontroléru, který má dva 8bitové registry, instrukční registr IR a datový registr DR. V IR jsou uloženy instrukční kódy jako mazání displeje, přesun kurzoru a adresy datové RAM (DDRAM) a generátoru znaků (CGRAM). DR registr dočasně ukládá data k možnému čtení nebo zápisu. DDRAM se užívá k ukládání dat, které jsou reprezentovány jako 8bitové znaky. Lze jich uložit až 80. V CGRAM jsou uloženy veškeré znaky, které je LCD schopno zobrazit.[8]

K LCD se dá připojit pomocí pinů. Na obrázku níže je zobrazeno kde se nachází na displeji.



Obrázek 5.12: LCD displej RC1604A-YHY-ESX

5.2.5 Ovládací prvky

Ovládání modelu bude řešeno pomocí přepínačů, potenciometrů a napěťových signálů. Ručním ovládáním budou tlačítka přepínat směr pohybu u jednotlivých os. Bude se tedy jednat o tlačítko, které bude mít minimálně dvě polohy. Pro model bylo vybráno tlačítko s třemi polohami ON-OFF-ON. Jedná se o páčkový přepínač. Jedna poloha navíc umožňuje vypnutí ovládání motoru. Přepínač tedy bude fungovat pro změnu směru. Směr pohybu osy bude dále zobrazen na LCD displeji.



Obrázek 5.13: Přepínač

Hlavním ovládacím prvkem pro regulaci otáček, respektive rychlosti motoru, bude potenciometr. Jelikož motor bude řízen pomocí řídicí jednotky je zapotřebí mít vazbu od uživatele. K tomu nám poslouží právě potenciometry. Hodnotu z potenciometru tak vyhodnotí řídicí jednotka a přepočítá hodnotu na procentuální výkon motoru. Jedná se o axiální, jedno otáčkový potenciometr o velikosti 10k Ω .



Obrázek 5.14: Potenciometr

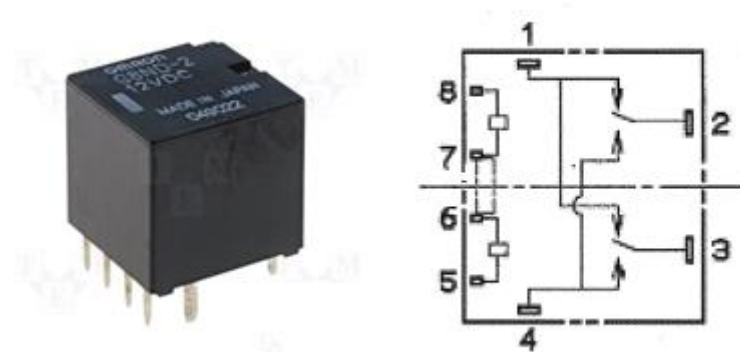
Pro externí ovládání napěťovými signály bude zapotřebí použít konektor pro připojení externího zařízení. Tento konektor byl použit z dostupných součástek, které jsem našel. Jedná se o konektor DB25.



Obrázek 5.15: Konektor DB25

Tento konektor disponuje pětadvaceti piny. V modelu bude využito devět pinů. Bude se jednat o dva vstupní analogové signály, dále pak o dva výstupní analogové signály z optického senzoru vzdálenosti a čtyři digitální signály z optozávor. Model tak bude ovladatelný pomocí externího zařízení. Externí zařízení tak bude komunikovat přes tento konektor.

Důležitou součástí řízení motoru, respektive polarity napájení je H-můstek. Toto zapojení nám umožní změnu polarity, která vede ke změně směru otáčení motoru. Existuje mnoho řešení toho zapojení, pro model byl vybrán již zkonstruovaný typ. Jde o elektromagnetické relé G8ND-2, které obsahuje dvě cívky pro přepínání. Toto relé funguje tak, že pokud je na jednu cívku přivedeno napětí, sepne jeden okruh, pokud na druhou sepne druhý okruh. Pokud jsou obě sepnuté nebo rozepnuté na výstupech neteče žádný proud. Pomocí relé tedy snadno ovládáme směr otáčení motoru.



Obrázek 5.16: G8ND-2 a jeho schéma vnitřního zapojení

5.2.6 Ostatní součástky

Elektrické zapojení se však neobejde bez dalších součástek. Těchto součástek je zde hned několik. Dalšími prvky v elektrickém zapojení jsou tranzistory. V elektrickém zapojení se nachází dva typy tranzistorů. Je zde typ TIP122 a IRL540N. Oba tranzistory jsou v pouzdře TO-220.



Obrázek 5.17: Tranzistor s pouzdrem TO-220

Tranzistor TIP122 jehož vlastnosti jsou popsány v tabulce 6, slouží v modelu pro buzení cívek v relé G8ND-2. TIP 122 bude tedy buzen z řídicí jednotky tak, aby se otevřel a na cívku relé se tak přivedlo napětí 12 V.

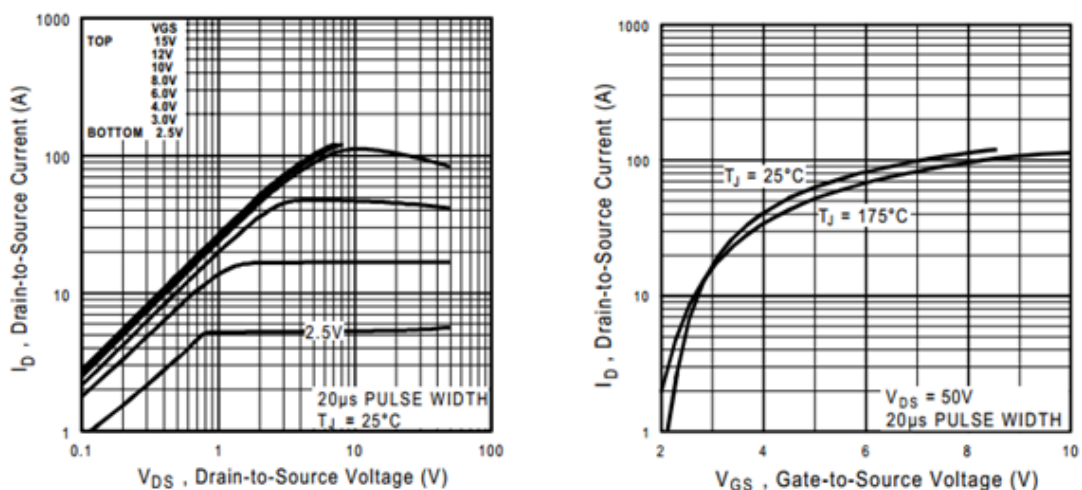
Tabulka 6: Základní vlastnosti tranzistoru TIP122

V_{CBO}	Collector-Base Voltage	100	V
V_{CEO}	Collector-EmitterVoltage	100	V
V_{EBO}	Emitter-Base Voltage	5	V
I_C	CollectorCurrentContinuous	5	A
I_B	Base Current	120	mA
P_D	PowerDissipation	65	W

Tranzistor IRL540N je v modelu použit jako budicí prvek pro spínání napětí na motoru. Jedná se o tranzistor s logickou úrovní. To znamená, že ho lze plně otevřít při přivedení 3V na Gate. Jeho vlastnosti jsou popsány v tabulce 7.

Tabulka 7: Základní vlastnosti tranzistoru IRL540N

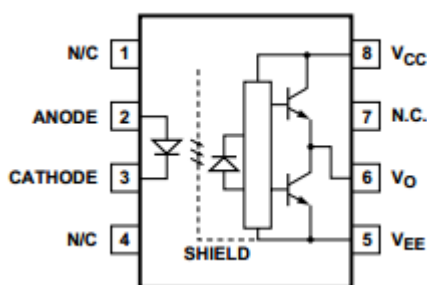
V_{GS}	Gate-to-Source Voltage	± 16	V
I_D	Continuous Drain Current	36	A
P_D	Power Dissipation	140	W



Obrázek 5.18: Budicí a teplotní charakteristika tranzistoru IRL540N

Tranzistor je buzen řídicí jednotkou pomocí PWM, tento způsob je použit pro slabší motor, který je umístěn na druhé ose. Pro hlavní osu respektive pro výkonnější motor bude potřeba zvolit jiný způsob. Samotný IRL540N nestačí, jelikož má motor větší odběr proudu a frekvence PWM je moc rychlá. Z těchto důvodů se tranzistor nestačí správně otvírat a zavírat a dochází tak k jeho přehřívání. Aby nedocházelo k přehřívání a tranzistor správně otvíral a zavíral, musí být buzen větším napětím a proudem. Z toho důvodu ho nelze budit přímo z řídicí jednotky. Řešením je budič, který přivede na bázi tranzistoru libovolné napětí a proud. K tomuto budiči by byla připojena řídicí jednotka a budič bude budit tranzistor správným napětím. Jako budič byl zvolen optočlen HCPL-3140. Tento optočlen je vyroben pro buzení MOSFET tranzistorů. Tento optočlen lze řídit z řídicí jednotky, a na jeho výstupu poté bude nastavené napětí. Řídicí jednotka je přivedena na diodu, která spíná vnitřní obvod. K tomuto obvodu je připojeno externí napětí, které je poté podle spínání diody

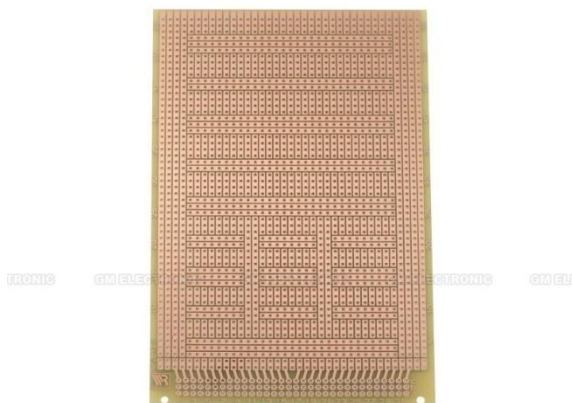
propouštěno na výstup. Díky tomuto optočlenu zmírníme přehřívání a docílíme lepšího spínání tranzistoru IRL540N



Obrázek 5.19: Vnitřní zapojení HCPL-3140

Řídící jednotka, která byla zvolena, tedy Arduino Due, je potřeba napájet ideálně 9 V. Z tohoto důvodu je v elektrickém zapojení použit stabilizátor napětí. Tento stabilizátor umožní převést 12 V ze zdroje na konstantních 9 V s maximálním proudem 1 A. Stabilizátor nám tedy poslouží k přivedení napájení do řídicí jednotky. Dále je zde použit i stabilizátor, který stabilizuje na úroveň 5 V. Tento stabilizátor je zde použit, protože Arduino Due má pracovní napětí 3,3 V. To znamená, že na svých výstupech má při sepnutém stavu maximálně 3,3 V. Jelikož je potřeba některé komponenty napájet 5 V byl do elektrického zapojení implementován i tento stabilizátor.

Mezi další elektrické prvky patří i rezistory, které jsou zde použity společně s kondenzátory. Celé elektrické zapojení je ovšem potřeba realizovat. Pro tyto účely je vybrán univerzální plošný spoj. Tento plošný spoj by měl vyhovovat elektrickému zapojení.



Obrázek 5.20: Univerzální plošný spoj

5.3 Mechanické zapojení

Ač model oplýval mnoha mechanickými prvky, byly navrhnuty některé změny. Změny se týkaly především návrhu pohybu v druhé ose. Druhá osa byla zkonstruována tak, aby bylo docíleno co možná největší efektivity. Bylo dbáno na rozložení modelu a výsledný vzhled. Jak bylo zmíněno v návrhu druhé osy, osa by se měla pohybovat pomocí závitové tyče. Tato tyč by měla být dostatečně dlouhá pro druhou osu. Na obou koncích by měla být osazena ložisky pro lepší otáčení. Na ose by měla být přichycena plošina, do které bude zalisován protikus k závitové tyči, tedy matice. Na konci osy, kde se bude nacházet motor, je zapotřebí upravit tyč tak aby bylo možné na ni uchytit motor přímo. V místech, kde by mělo dojít k připojení hřídele motoru, byl na tyči sražen závit, tak aby spojení bylo jednodušší. Výsledná osa tak umožní pohyb v rozsahu 0 – 16 cm.



Obrázek 5.21: Nový pohyb v druhé ose

Změnou prošlo také uchycení motoru hlavní osy. Motor byl vyměněn a tak bylo nutné upravit celý mechanismus uchycení. Samotný motor je slabší než původní a tak nebyl zapotřebí velký převod, který se na modelu nacházel. Tento převod byl nahrazen převodem $1/6$.

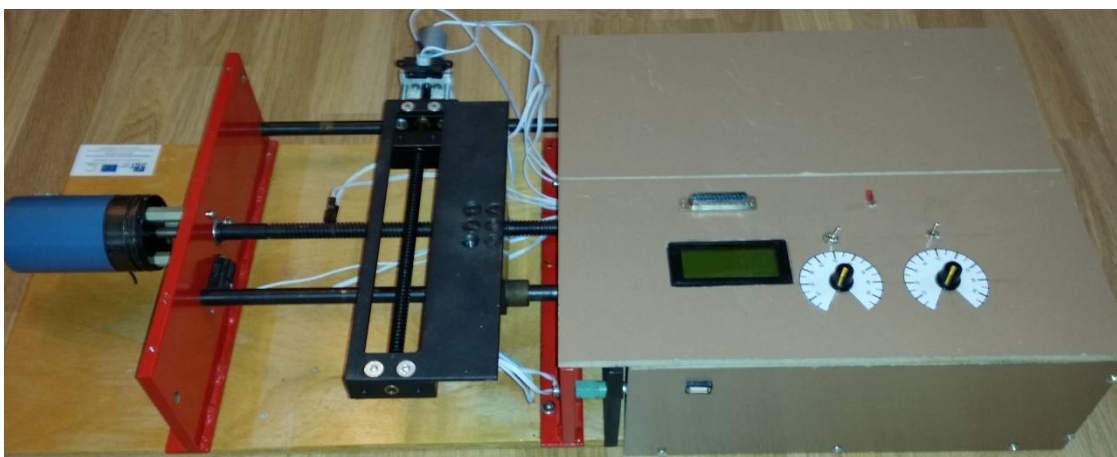


Obrázek 5.22: Nový převod pro motor hlavní osy

Samotný motor byl pak uchycen pomocí pružné spojky a tří ramen.

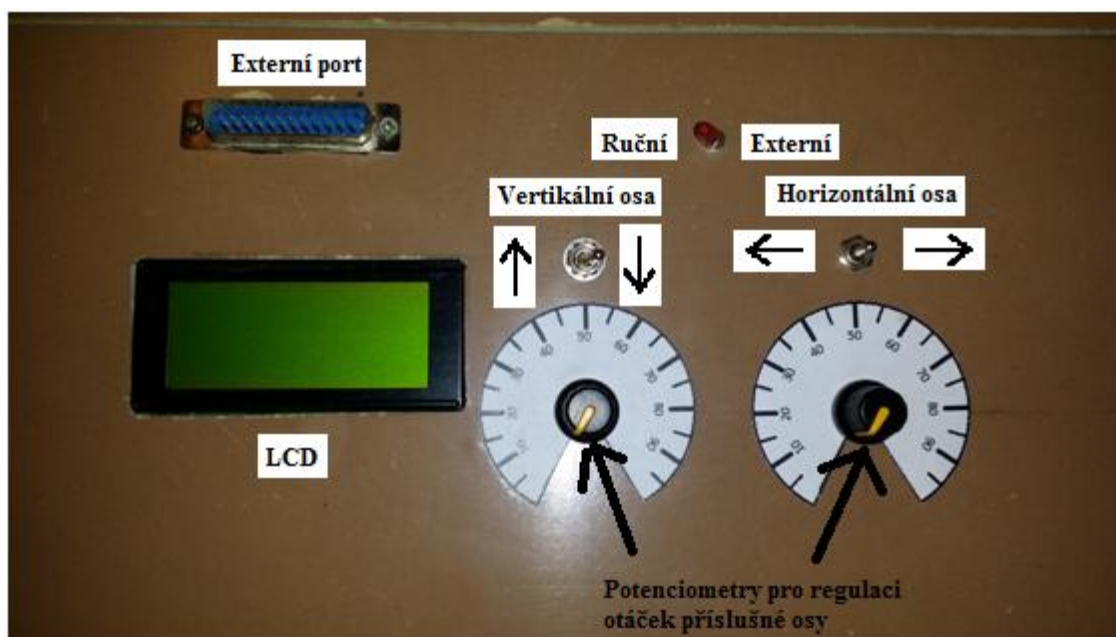


Obrázek 5.23: Uchycení motoru pro hlavní osu



Obrázek 5.24: Sestavený model laboratorního pracoviště

Na obrázku 5.24 je zachycena výsledná podoba modelu. V pravé části se nachází řídicí skříň, která obsahuje řídicí jednotku i s plošným spojem osazeným potřebnými komponentami. Na řídicí jednotce se nachází ovládací panel, který umožní ovládat celý model.



Obrázek 5.25: Ovládací panel

Ovládací prvky na hlavním panelu jsou uspořádány podle následujícího obrázku 5.25. Lze přepínat mezi ručním a externím ovládáním. Při volbě ručního ovládání jsou aktivní i ostatní přepínače a potenciometry. Pomocí těchto prvků lze plynule ovládat pohyb plošiny. Veškeré informace jsou zobrazovány na LCD panelu.

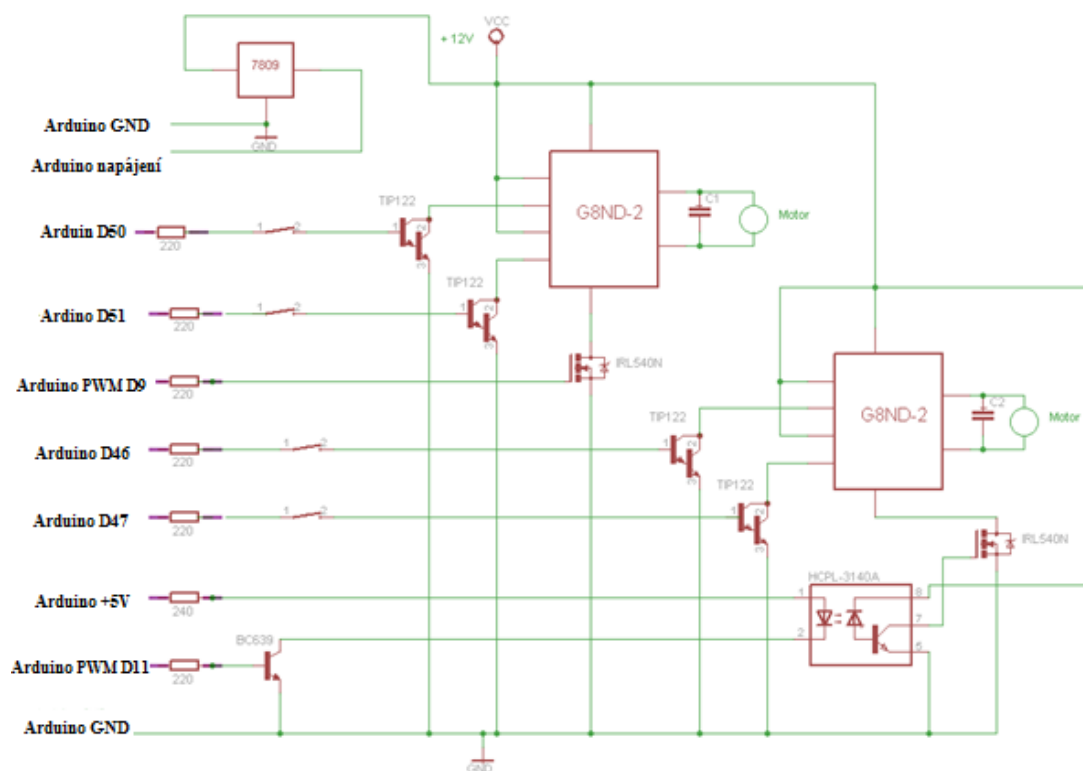
Při volbě externího ovládání, jsou přepínače a potenciometry nečinné. Veškeré řízení je ovládání přes externí port. Model je tak řízen napěťovými vstupy. Veškeré informace jsou vypisovány na LCD displej a přivedené na výstup externího portu.

Dále je do skříně zabudován i převod pro hlavní osu včetně pohonné jednotky. V levé části se pak nachází plošina. Touto plošinou lze pohybovat po hlavní i vedlejší ose tak, aby bylo využito veškerého možného prostoru. Plošina tak má rozsah pohybu 20×16 cm. Lze tak plně využít daného prostoru.

5.4 Elektrické zapojení

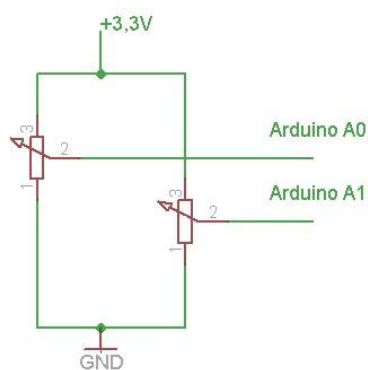
Elektrické zapojení bude vycházet z návrhu, který je prezentován na obrázku 4.11. Do tohoto zapojení budou použity veškeré akční i pasivní členy, které byly vybrány. Veškeré členy budou do systému implementovány podle následujících schémat elektronického zapojení.

Zapojení obou motorů vycházelo z návrhu, který počítal s implementací H-můstku. Samotný H-můstek je realizovaný pomocí členu G8ND-2. Tento prvek obsahuje dvě cívky pro změnu toku proudu. Pomocí tohoto prvku docílíme požadované změny otáčení motoru, která je důležitá pro pohyb v ose. Samotné cívky jsou napájeny 12 V. Jako řídicí prvek pro spínání cívek byl zvolen tranzistor TIP122. Pomocí tohoto tranzistoru jsme schopni spínat napětí na cívce, čímž budeme řídit směr toku proudu skrz prvek G8ND-2. Tento tranzistor bude buzen přímo z řídicí jednotky přes odpor 220 Ω . Samotné motory využívají pro změnu rychlosti otáčení PWM signál generovaný z řídicí jednotky. Tento signál je ovšem slabý pro ovládání samotných motorů. Pro motor, který slouží pro pohyb druhé osy, byl zvolen tranzistor IRL540N. Jelikož tento motor nemá velké proudové zatížení, bude stačit samotný tranzistor. Tranzistor je buzen přímo z řídicí jednotky a spíná 12 V přímo na motor. Pro motor na hlavní ose byl zvolen jiný způsob zapojení a to z důvodu většího proudového zatížení. Opět byl zvolen tranzistor IRL540N, ovšem kdyby byl buzen přímo řídicí jednotkou, docházelo by k přehřívání, které by mohlo vést k jeho zničení. Bude proto zapotřebí použít budič. Jako budič byl zvolen HCPL-3140. Pomocí tohoto budiče lze tranzistor vybudit lépe než z řídicí jednotky. Díky tomu se nebude přehřívát a bude pracovat správně.

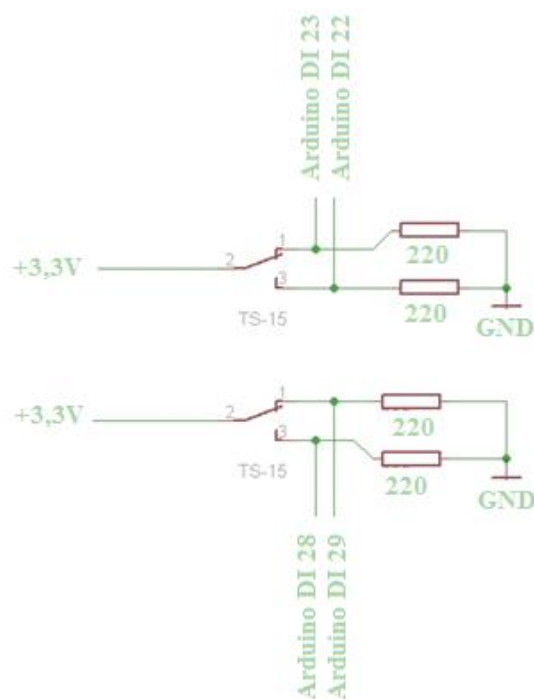


Obrázek 5.26: Schéma zapojení - ovládání motorů

Jako ovládací prvky byly zvoleny přepínače a potenciometry. Tyto členy je nutné připojit k řídicí jednotce tak, aby byla schopna rozpoznat hodnoty jednotlivých prvků.

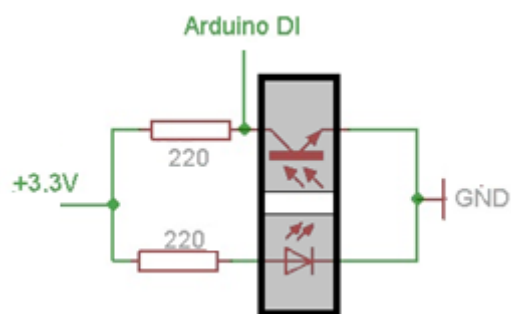


Obrázek 5.27: Schéma zapojení - potenciometry

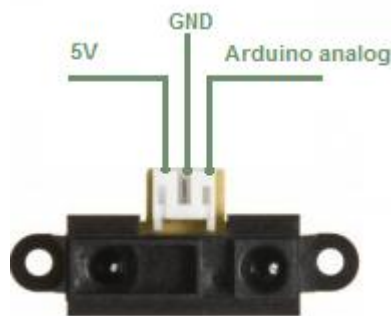


Obrázek 5.28: Schéma zapojení – přepínače

Nedílnou součástí modelu jsou i senzory. Na modelu jsou použity optozávory a optické senzory na měření vzdálenosti. Tyto senzory je nutné připojit k řídicí jednotce tak, aby dokázala správně komunikovat a vyhodnocovat jejich údaje.

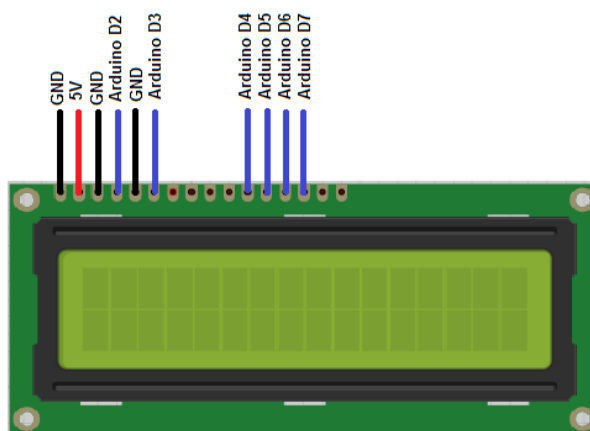


Obrázek 5.29: Schéma zapojení - optozávora



Obrázek 5.30: Schéma zapojení - optočlen na měření vzdálenosti

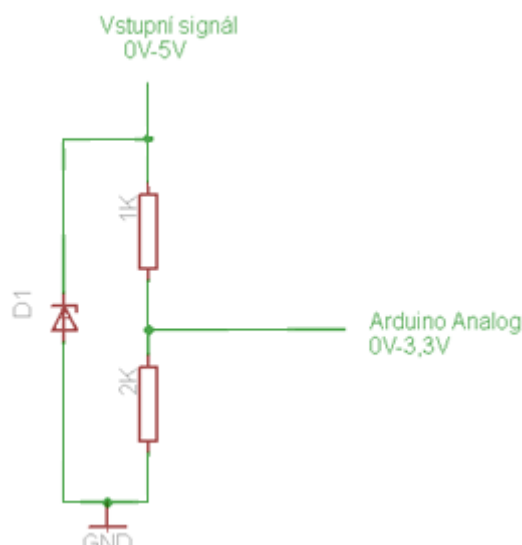
LCD displej je připojen k řídicí jednotce, podle obrázku 5.30.



Obrázek 5.31: Zapojení LCD displeje

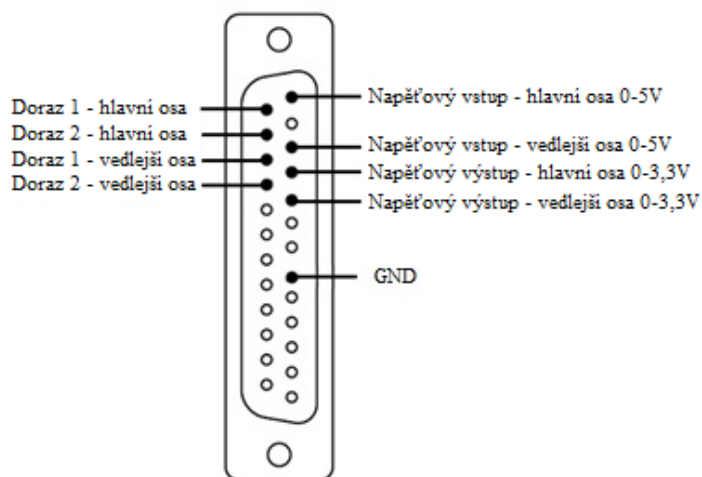
Externí ovládání modelu je řešeno pomocí analogových signálů. Pro ovládání výkonu motorů a směru pohybu os je nutné připojit napětí v rozsahu 0 – 5 V. Nemělo by dojít k překročení tohoto rozsahu. Řídicí jednotka umožní připojení analogového signálu v rozsahu 0 – 3,3 V. Z těchto důvodů bude nutné vstupní signál upravit. Vstup do řídicí jednotky musí být dále ošetřen, aby nedošlo k jeho poškození z důvodu přivedení většího, než povoleného napětí. Signál tak projde přes napěťový dělič. Tento dělič bude chráněn zenerovou diodou (BZX83V005.1) proti přepětí. Zenerova dioda bude zapojena v závěrném směru tak, že po překročení zenerova napětí U_Z (5,1 V) dojde k vratnému proražení přechodu a proud prudce poroste, přičemž napětí na diodě zůstane téměř neměnné. Průchodem proudem se ale dioda zahřívá a proto nesmí dojít k překročení maximálního proudu I_{ZMAX} (98 mA), jinak

by došlo k nenávratnému tepelnému poškození diody. Samotný napěťový dělič bude složen ze dvou odporů v sérii s poměrem 1:2



Obrázek 5.32: Napěťový dělič

Pro externí ovládání je nezbytné informovat externí zařízení o poloze plošiny. K těmto účelům budou napěťové signály z optických senzorů pro měření vzdálenosti vyvedeny na výstup modelu. Externí zařízení tak bude pracovat s analogovým signálem v rozsahu 0 V – 3,3 V. Napěťová úroveň tohoto signálu udává vzdálenost plošiny od počátečního bodu. Tuto vzdálenost v centimetrech lze odvodit z grafu 1. Dalším výstupem pro externí zařízení bude informace z optočlenů, tedy z dorazů, které určují koncový bod na ose. Tyto výstupní signály budou nabývat napěťových hodnot 0 V a 3,3 V. V případě 0 V je doraz nečinný, osa je tedy mimo tento bod. Při napětí 3,3 V na výstup je doraz sepnut, což znamená, že se osa nachází na koncovém bodě. Jednotlivé vstupy a výstupy z/do modelu jsou řešeny pomocí konektoru DB25.



Obrázek 5.33: Zapojení konektoru DB25

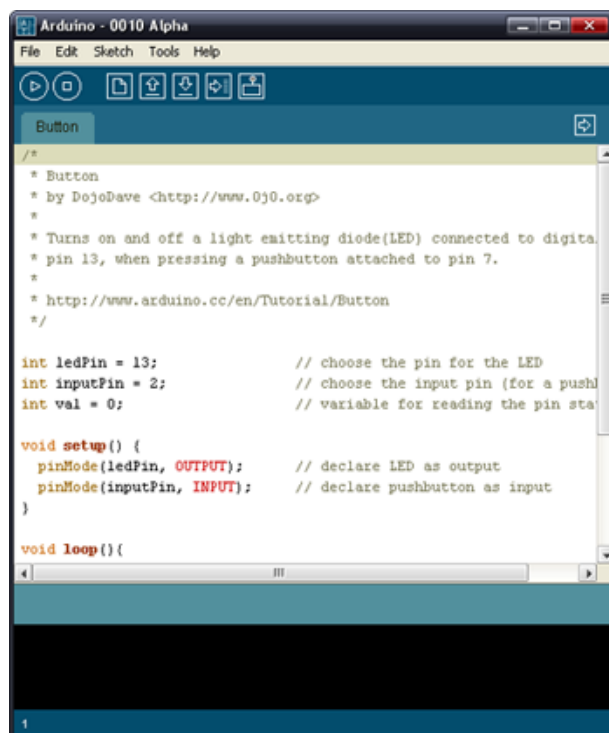
Veškeré tyto dílčí schémata jsou propojeny přes řídicí jednotku. V následující tabulce 8 jsou popsány piny, které jsou použity u řídicí jednotky.

Tabulka 8: Popis použitých pinů na řídicí jednotce Arduino Due

PIN	POPIS	PIN	POPIS
A0	Potenciometr pro hlavní osu	D23	Tlačítko na změnu směru hl. osy
A1	Potenciometr pro vedlejší osu	D24	Tlačítko na změnu režimu ovládání
A2	Optický senzor vzdálenosti hl. osa	D25	Tlačítko na změnu režimu ovládání
A3	Optický senzor vzdálenosti vedl. osa	D28	Tlačítko na změnu směru vedl. osy
A4	Doraz 1 – hlavní osa (Vstup)	D29	Tlačítko na změnu směru vedl. osy
A5	Doraz 2 – hlavní osa (Vstup)	D30	Doraz 1 – hlavní osa (Ext. výstup)
A6	Doraz 1 – vedlejší osa (Vstup)	D31	Doraz 2 – hlavní osa (Ext. výstup)
A7	Doraz 2 – vedlejší osa (Vstup)	D32	Doraz 1 – vedlejší osa (Ext. výstup)
A8	Externí ovládání hlavní osa	D33	Doraz 2 – vedlejší osa (Ext. výstup)
A9	Externí ovládání vedlejší osa	D46	Ovládání směru hlavní osy
D9	PWM ovládání hlavní osy	D47	Ovládání směru hlavní osy
D11	PWM ovládání vedlejší osy	D50	Ovládání směru vedlejší osy
D22	Tlačítko na změnu směru hl. osy	D51	Ovládání směru vedlejší osy

6 Oživení modelu

Poté, co byly jednotlivé komponenty napájeny na plošný spoj a připojeny k řídicí jednotce, je nutné vytvořit program pro řízení celého modelu. Otevřené vývojové prostředí Arduino naprosto zjednodušuje psaní kódu a nahrávání hotových programů do mikroprocesoru. Je k dispozici ve verzích pro Windows, Mac OS X a Linux.



Obrázek 6.1: Vývojové prostředí pro řídicí jednotku Arduino

Arduino poskytuje nepřeberné možnosti měření, monitorování a ovládání zařízení, a to pomocí jednoduchého programového prostředí Arduino, vycházejícího z jazyka C. Součástí softwarového balíčku je spousta příkladů a knihoven pro ovládání dalších rozšiřujících modulů (Shieldů).

Některé členy v modelu, které komunikují s řídicí jednotkou, jsou připojeny na analogové vstupy. Posílají tak svou hodnotu prostřednictvím napěťové úrovně. Analogové vstupy na řídicí jednotce mají maximální vstup 3,3 V. Hodnota, která je přivedena na tento vstup, je převedena na 10bitové číslo. Může nabývat hodnot 0 – 1023. K analogovému vstupu je mimo jiné připojen i optočlen pro měření

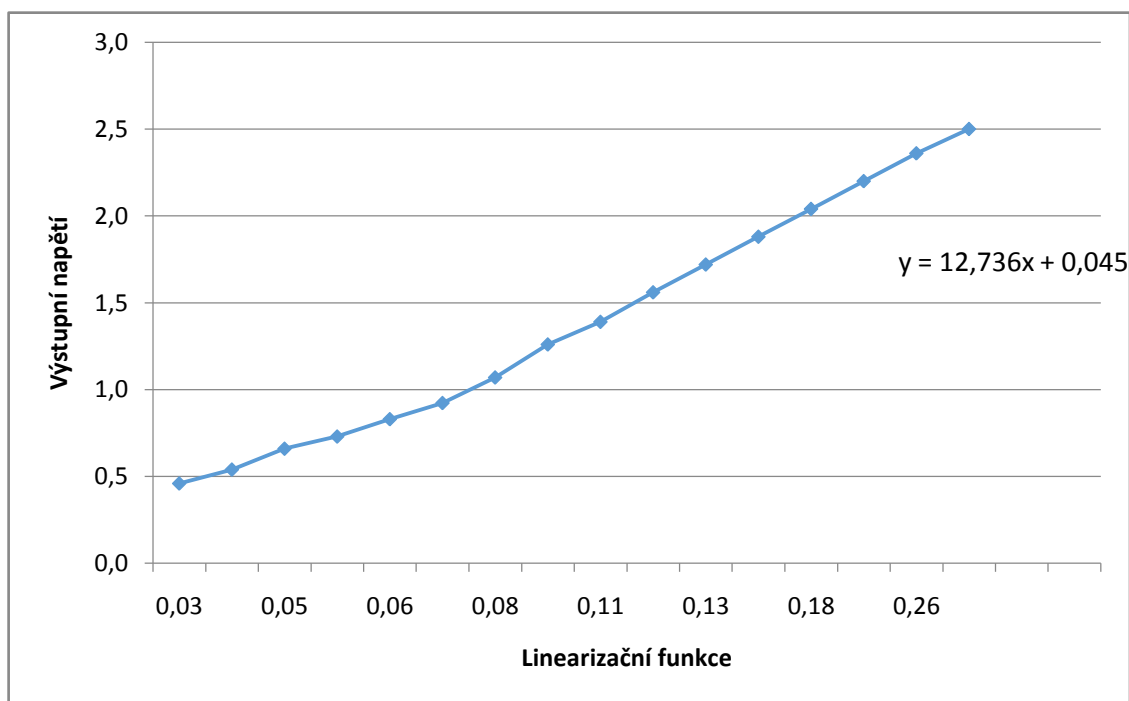
vzdálenosti. Jelikož nemá tento člen lineární charakteristiku (Graf 1), je nutné odvodit vztah pro výpočet vzdálenosti. Výrobce snímače uvádí v katalogovém listu inverzní funkci (1), podle které je možné výstupní charakteristiku jednoduše interpolovat.

$$U = \frac{1}{L+0,42} \quad (1)$$

Tímto vztahem, ve kterém parametr „U“ představuje výstupní napětí snímače a „L“ vzdálenost předmětu od snímače, dostaneme z nelineární charakteristiky poměrně lineární přímku. Nejprve se vypočítají hodnoty funkce v závislosti napětí na dané vzdálenosti. Z těchto dat vytvoříme graf a výslednou přímku proložíme lineární regresí, ze které získáme vhodné konstanty „a, b“ rovnice lineární funkce (2).

$$y = a \cdot x + b \quad (2)$$

Z výše uvedené rovnice znázorňuje „y“ lineární rozsah napětí výstupu a proměnná „x“ hodnotu výstupního napětí z rovnice (1).



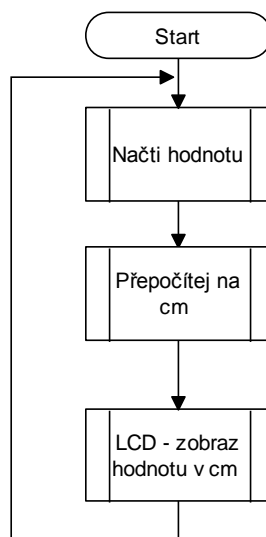
Graf 2: Linearizace výstupu snímače

K analogovému vstupu je dále připojen i potenciometr. Potenciometr je napájen 3,3 V a tak je opět načtená hodnota v rozsahu 0 – 1023. Hodnota z potenciometru je

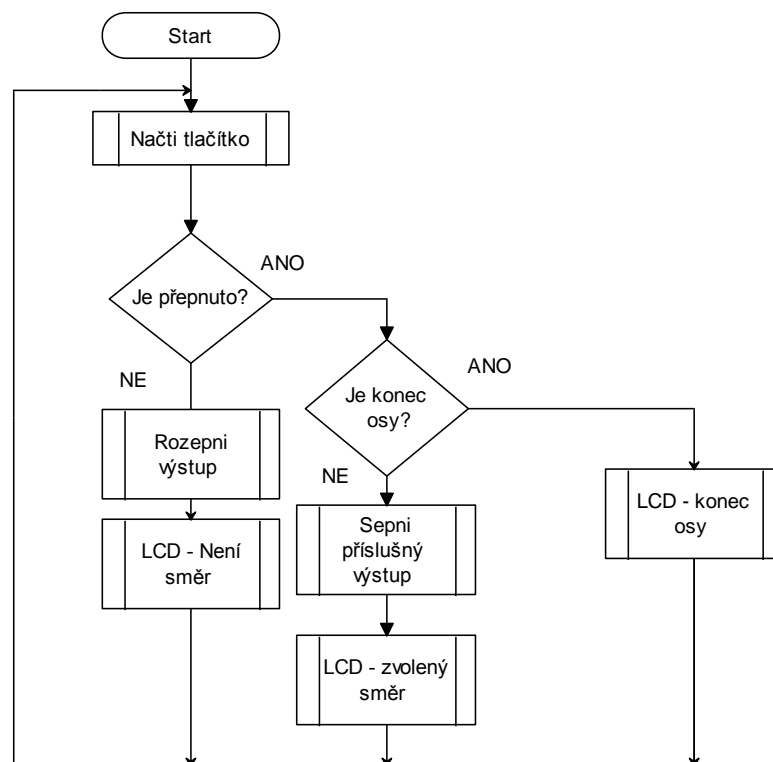
převezena tak, aby se dala použít na výstupu PWM. PWM výstup pracuje s 8bitovou hodnotou. Hodnota potenciometru je tedy vydělena 4. Analogový vstup slouží i pro načtení externího analogového signálu. Signál je přiveden přes dělič napětí a dosahuje tak hodnot 0 – 3,3 V. Načtená hodnota je tak opět v rozsahu 0 – 1023. Tato hodnota v sobě nese dvě informace. První informací je směr otáčení a druhou je rychlost. Načtená hodnota tak bude muset být zpracována a vyhodnocena. Je-li hodnota v rozsahu 0 – 465 jedná se o jeden směr otáčení, je-li 558 – 1023 jedná se o druhý směr. Rozsah 466 – 557 bude použit pro nečinnost motoru. Regulace otáček se poté bude odvíjet od načtené hodnoty daného rozsahu. Spodní hranice rozsahu reprezentuje 0 % a horní 100 % výkonu.

Ostatní prvky, které jsou připojeny k digitálním vstupům, nabývají hodnot 0 V nebo 3,3 V což řídicí jednotka vyhodnotí jako logická 0 respektive 1.

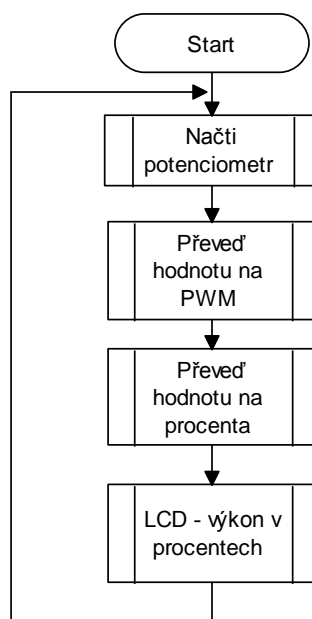
Samotný program by tak měl zvládnout komunikaci s ovládacími prvky pro ruční ovládání, dále zpracovat napěťové signály z externího zařízení, komunikaci se senzory na modelu. Dále by měl být schopen tyto informace zpracovat a vyhodnotit. Pomocí zpracovaných informací dále ovládat směr a výkon obou motorů. Výsledný program je sestaven z dílčích částí. Jednotlivé části jsou popsány pomocí vývojových diagramů.



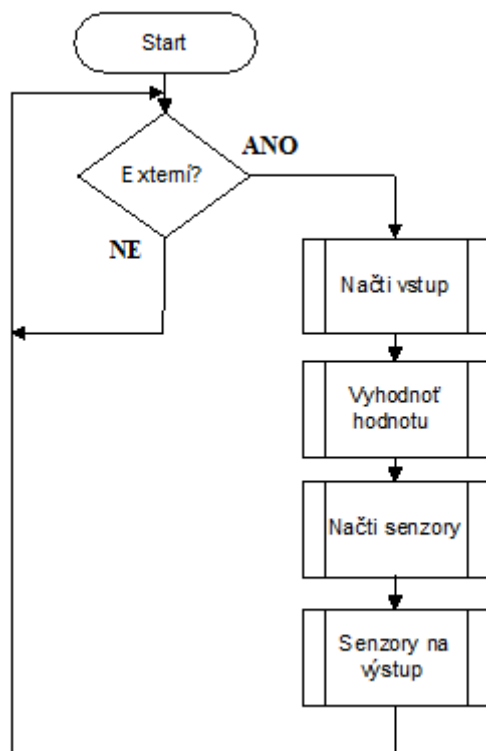
Obrázek 6.2: Diagram měření vzdálenosti



Obrázek 6.3: Diagram pro změnu směru při ručním ovládání



Obrázek 6.4: Digram pro řízení výkonu motoru při ručním ovládání



Obrázek 6.5: Digram pro řízení při externí ovládání

Výsledný program (viz příloha) byl nahrán do řídicí jednotky, která se tak stává hlavním řídicím členem celého modelu. Po přivedení napájení do zdroje modelu, tak můžeme ověřit její funkčnost.

6.1 Funkčnost

Samotná funkčnost modelu je dána jejími požadovanými vlastnostmi. Model by měl tedy zvládat pohyb v obou osách najednou. Pohyb by měl být řízen buď potenciometry a přepínači, tak aby bylo možné regulovat rychlost a směr otáčení motorů, nebo externími analogovými signály. Další funkcí je najetí do určitého bodu a obkreslení určité křivky. K této funkci slouží především optické senzory měření vzdálenosti. Pozice plošiny odpovídá hodnotám těchto senzorů. Proto je nezbytná správná komunikace s řídicí jednotkou. U modelů, které využívají pohyb po ose, je důležitým faktorem funkce dorazu. Jedná se o maximální povolený bod pro pohyb v ose, který se nachází na obou koncích dané osy. Byly použity dva způsoby. Jedním je optozávora, jejichž hodnotu zpracovává řídicí jednotka a dokáže tak zastavit pohyb,

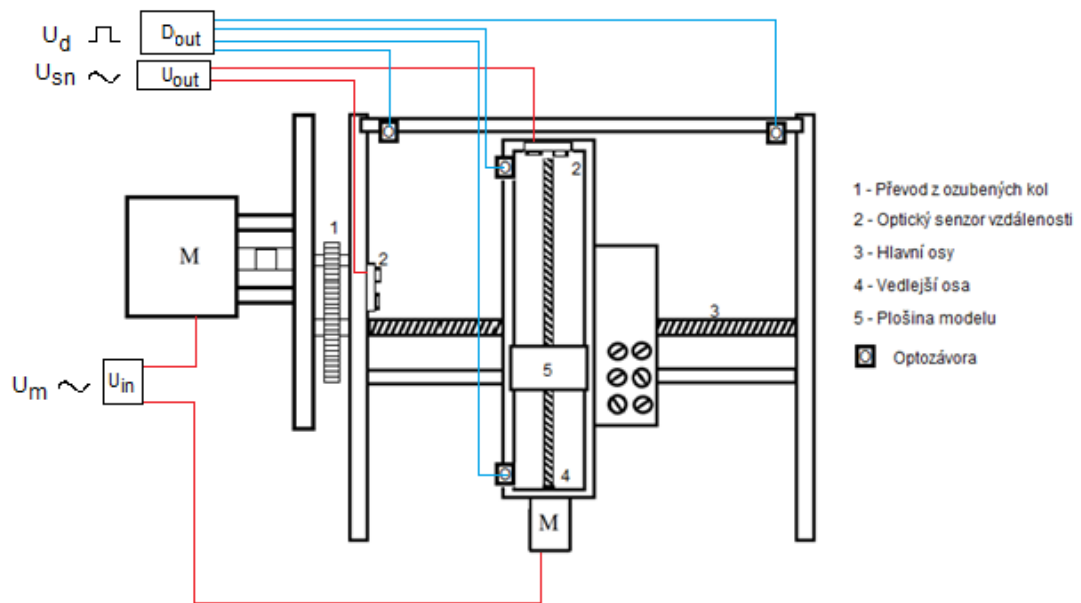
dále pak fyzický přepínač, který se nachází za optozávorou a odstaví napájení od motoru tak, aby nedošlo k poškození osy. Tyto bezpečnostní prvky jsou nezbytné pro optimální funkčnost modelu.

Když je určeno, jak by se měl model chovat, nic nebrání jeho otestování. Model dokáže pohybovat plošinou v obou osách což je hlavním úkolem. Při ručním ovládání jde regulace rychlosti otáčení motoru plynule a přepínače na změnu směru fungují, jak mají. Řízení pomocí externích analogových signálů funguje podle předpokladů. Problémem je pouze správné ošetření vstupů. V modelu je použita zenerova dioda, která dokáže eliminovat větší než požadované vstupní napětí. Toto ošetření by mělo být pro správný chod modelu dostačující. Ovšem, je důležité dbát na správné přivedení vstupního napětí, čímž eliminujeme možné zničení řídicí jednotky modelu. Externí výstupy z modelu udávají přesnou informaci o poloze plošiny a tak by neměl být problém pro externí zařízení vyhodnotit tyto informace. Důležitým aspektem modelu je displej. Ten je schopen uživatele informovat o pozici plošiny, rychlosti a směru otáčení motorů. Což je u ručního ovládání nezbytnou součástí. Bezpečnostní prvky, které jsou na modelu použity, splňují svou funkci a chrání tak model před zničením.

Ověření funkčnosti tak dopadlo velmi slibně a model je tak připraven na plné použití. Je ovšem velice důležité dbát na bezpečnost při jeho používání. Především u všech pohyblivých částí. Uživatel by neměl do modelu nijak zasahovat při jeho běhu, čímž se vyhne možnému úrazu. Dbát by se mělo na správné připojení konektoru a veškerou manipulaci s kabeláží modelu.

6.2 Laboratorní cvičení

Laboratorní pracoviště „suport modelu soustruhu“ (Obrázek 6.5) je osazeno dvěma motory (M), které pohybují plošinou (5). Rychlost a směr otáčení motoru je dán napětím (U_m). Poloha plošiny je snímána infračerveným snímačem vzdálenosti (2). Pozice plošiny je pak dána napětím z těchto snímačů (U_{sn}). Informace o překročení maximální pozice plošiny je dána výstupy (U_d).



Obrázek 6.6: Principiální schéma modelu

Analogový I/O signál	Rozsah napětí [V]	Význam
U_m	0~5	Výkon a směr motoru
U_{sn}	0~ 3,3	Pozice plošiny
Digitální I/O signál	Rozsah	Význam
U_d	Log. 0 – Log. 1	Maximální pozice plošiny

Výkon a směr motoru je dán rozsahem vstupního analogového signálu (U_m).

- $U_m \leq 2,3$ V, výkon je dán 0 – 2,3 V (0 – 100 %), směr vlevo
- $U_m \geq 2,7$ V, výkon je dán 2,7 – 5 V (0 – 100 %), směr vpravo
- $U_m > 2,3$ V & $U_m < 2,7$ V, motor je nečinný

Výstupní napětí z infračerveného snímače vzdálenosti (U_{sn}), lze převést na vzdálenost v centimetrech odvozením z grafu 1, nebo pomocí vztahu (3):

$$\text{Vzdálenost} = \frac{12,7549 - U_{sn} \cdot 0,42}{U_{sn} - 0,045} \quad (3)$$

6.2.1 Úloha – nalezení správného bodu

1. Pomocí ručních ovládacích prvků nalezněte bod [6,10].
2. Na externích výstupech změřte napětí z infračervených snímačů vzdálenosti, převed'te hodnotu na vzdálenost v centimetrech a porovnejte ho z informací na LCD displeji a grafem výstupní charakteristiky snímače.
3. Pomocí vstupního analogového napětí pohybujte plošinou k bodu [12,16] tak, aby se plošina pohybovala po pomyslné mřížce. Posouvejte se tedy po celých centimetrech vodorovně a svisle, nikoli po diagonále.
4. Změřte napětí na infračervených snímačích vzdálenosti po každém pohybu a porovnejte je s údaji na LCD displeji a grafem výstupní charakteristiky snímače

6.2.2 Úloha – synchronizace výkonu obou motorů

1. Pomocí ručních ovládacích prvků nalezněte výchozí bod [8,8].
2. Přidávejte výkon na obou motorech po jedné vteřině o 10% a odečítejte napětí z infračervených snímačů vzdálenosti. Pomocí těchto údajů spočítejte rychlost pohybu motorů při dílčích výkonech. (Ujetá vzdálenost za vteřinu)
3. Ze získaných údajů sestrojte algoritmus, který bude pohybovat plošinou po diagonále z bodu [8,8] do bodu [16,16] plynulým pohybem, tak aby oba motory pohybovali plošinou stejnou rychlostí.

7 Závěr

Při vytváření modelu jsem se snažil využít všechny svoje dosavadní znalosti, které jsem získal během studia. Hlavním cílem bylo vytvořit laboratorní pracoviště “Suport modelu soustruhu”.

7.1 Složitost vytvořeného modelu

Výsledná práce se dá rozdělit do dvou částí, které spolu úzce souvisí. Jedná se o část mechanickou a elektronickou. Část mechanická byla jednodušší ve srovnání s elektronickou. Koncept mechanické části byl již vytvořený, mechanicky však postrádal pohyb v druhé ose respektive osu samotnou. Tento fakt byl hlavním důvodem zasahování do mechanické konstrukce a nejsložitější úprava. Elektronická část byla o poznání těžší. Dá se říci, že elektronická část na stávajícím modelu chyběla. Tato část tak v sobě zahrnovala koncept od návrhu, přes výběr součástek až po samotnou realizaci. Při návrhu elektronického řešení se vycházelo nejprve z původního modelu. Nečekanými událostmi se však nedaly použít žádné elektrické prvky z původního modelu. Návrh byl však už z větší části hotov a tak při výběru nových součástek hrál hlavní roli. Výběr součástek byl tak ovlivněn původním modelem. Komponenty byly vybírány tak, aby pracovaly efektivně a nebránily plošině v pohybu. Toto byl velký problém z důvodu velikosti celého modelu. Výsledný model tak byl sestrojen pouze díky těmto faktům.

7.2 Rozšíření pro pohyb v druhé ose

Velký důraz při vytváření modelu byl kladen na rozšíření pohybu v druhé ose. Proto model v první řadě podstoupil tuto úpravu. Samotná realizace byla koncepčně vytvářena tak, aby bylo co nejvíce dbáno na rozmístění celého modelu. Byl tak kladen důraz na vizuální stránku. Osa byla konstrukčně vyrobena ze závitové tyče s protikusem a připevněna k hlavní ose. Model tak dostal nové rozměry pro pohyb plošiny. Výsledná osa tak splňuje veškeré požadavky a je tak docíleno rozšíření modelu o pohyb v druhé ose.

7.3 Oživení modelu

Poté co byla zkonstruována druhá osa, zbývalo konstrukčně jen minimum práce. Mechanicky byl model vybaven převodem pro regulaci otáček, který reguloval otáčení hlavního motoru. Tento převod byl upraven z důvodu výměny hlavní pohonné jednotky. Zbylé mechanické prvky zůstaly nezměněny. Elektronická část na modelu chyběla. Jejím zhotovení předcházela návrh, který je popsán ve čtvrté kapitole. Návrh jsem vytvářel dlouho, především z důvodu nalezení co možná neoptimálnějšího řešení. Díky tomuto návrhu se model realizoval, což je popsáno v páté kapitole. Realizace modelu nebyla snadná, model bylo nutné osadit komponentami tak, aby pracovaly efektivně a nebránily plošině v pohybu. Toto byl velký problém z důvodu velikosti celého modelu.

Samotný model byl pak řízen pomocí řídicí jednotky, která byla vybavena programem pro komunikaci a ovládání pohybu plošiny. Byla použita jednotka Arduino Due. Tuto jednotku jsem zvolil především kvůli jejím vlastnostem a jednoduchosti použití. Tato jednotka se po čas realizace jevila více a více jako správná volba. Dokázala bezproblémově komunikovat se senzory, ovládat výkon obou motorů a v neposlední řadě informovat uživatele o dění v modelu. Do řídicí jednotky byl nahrán program, který dokáže plně využít vlastností řídicí jednotky. Tento program vyhodnocuje v první řadě ovládací prvky pro ruční ovládání, dále pak napěťové signály k externímu ovládání pomocí elektrických vstupů. Program dále vyhodnocuje informace ze senzorů a poskytuje je uživateli ve formě zobrazení na LCD nebo napěťových signálů na výstupech modelu. Díky tomuto programu a konstrukci byl model hotov. Nezbyvalo než otestovat jeho funkčnost.

7.3 Zhodnocení

Bylo dosaženo všech bodů zadání. Ve druhé kapitole je popsán původní model, který byl poté upravován. Návrhy rozšíření modelu o pohyb v druhé ose, mechanické a elektronické řešení je popsáno v kapitole čtvrté. V následující kapitole je popsána realizace výsledného modelu. Samotný model poté prošel oživením a otestováním jeho funkcí. Model, tak jak byl konstruován, pracuje podle předpokladů.

Nevětším nedostatkem modelu je jeho přesnost. Z důvodu použití optických senzorů se stává, že senzor vyše nesprávný údaj. Tento problém je řešen řídicí jednotkou, ovšem i tak dochází k nepravidelným nepřesnostem. Konstrukčně je model připraven na budoucí rozšíření, které by bylo vhodné pro začlenění do iLab.

Literatura

- [1] Eitel, Elisabeth. Basics of rotary encoders: Overview and new technologies. Machine Design Magazine, 7 May 2014.
- [2] Motory. In: Synchronní motor [online]. [cit. 2014-05-04]. Dostupné z: http://www.myinfo.sk/download/SKOLA/002-Motory_TYPY_33str.pdf
- [3] Barr, Michael. "Pulse Width Modulation," Embedded Systems Programming, September 2001, pp. 103-104.
- [4] Arduino: Vývojový kit [online]. [cit. 2014-07-17]. Dostupné z: <http://arduino.cc/en/Main/Products>
- [5] ChipKit: Vývojový kit [online]. [cit. 2014-07-19]. Dostupné z: <http://chipkit.net/about-us/>
- [6] HW.CZ. Vše o elektronice a programování [online]. 2013 [cit. 2014-09-20]. Dostupné z: <http://www.hw.cz/>
- [7] Senzory a převodníky. 1. vyd. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2005, 136 s. ISBN 80-010-3123-3.
- [8] RC1604A-YHY-ESX specification [online]. [cit. 2014-09-05]. Dostupné z: <http://www.tme.eu/en/Document/1d2c3643f48195b336e19f2fe2cb2595/RC1604A-YHY-ESX.pdf>

Příloha

```
#include <LiquidCrystal.h>
LiquidCrystal lcd(2, 3, 7, 6, 5, 4);

void setup() {                                // Nastavení vstupů a výstupů
    lcd.begin(16, 4);
    lcd.clear();

    // PWM výstupy
    pinMode(9, OUTPUT);                       //PWM hlavní motor
    pinMode(11, OUTPUT);                      //PWM vedlejší motor

    // přepínač směru pro hlavní motor
    pinMode(22, INPUT);
    pinMode(23, INPUT);

    // Přepínač směru pro druhý motor
    pinMode(28, INPUT);
    pinMode(29, INPUT);

    // přepínač pro ruční/externí ovládání
    pinMode(24, OUTPUT);
    pinMode(25, OUTPUT);

    // změna směru pro hlavní motor
    pinMode(46, OUTPUT);
    pinMode(47, OUTPUT);

    // změna směru pro druhý motor
    pinMode(50, OUTPUT);
    pinMode(51, OUTPUT);

    // analogové vstupy
    pinMode(A0, OUTPUT);                      // hodnota z potenciometru pro hlavní motor
    pinMode(A1, OUTPUT);                      // hodnota z potenciometru pro druhý motor
    pinMode(A2, OUTPUT);                      // optický senzor vzdálenosti na hlavní ose
    pinMode(A3, OUTPUT);                      // optický senzor vzdálenosti na druhé ose
    pinMode(A4, OUTPUT);                      // doraz_1 pro hlavní osu
    pinMode(A5, OUTPUT);                      // doraz_2 pro hlavní osu
    pinMode(A6, OUTPUT);                      // doraz_1 pro druhou osu
    pinMode(A7, OUTPUT);                      // doraz_2 pro druhou osu
```

```

pinMode(A8, OUTPUT);          // externí ovládání hlavního motoru
pinMode(A9, OUTPUT);          // externí ovládání druhého motoru

//Výstup dorazů pro externí ovládání
pinMode(30, OUTPUT);          // doraz_1 pro hlavní osu
pinMode(31, OUTPUT);          // doraz_2 pro hlavní osu
pinMode(32, OUTPUT);          // doraz_1 pro druhou osu
pinMode(33, OUTPUT);          // doraz_2 pro druhou osu
}

void hodnota_senzoru();        //Deklarace metody hodnota_senzoru

void loop() {                  // Smyčka pro hlavní program
  lcd.clear();                 // vymaže displej
// Podmínka pro určení ovládání
  if((digitalRead(24)==HIGH) && (digitalRead(25)==LOW)){ // ruční ovládání
    int analog_0 = analogRead(A0); // načti lokální hodnotu pro hlavní motor
    int analog_1 = analogRead(A1); // načti lokální hodnotu pro vedlejší motor

    if((digitalRead(22)==HIGH) && (digitalRead(23)==LOW)){
      if(analogRead(A4)==0){ // test dorazu
        digitalWrite(46, LOW);
        digitalWrite(47, LOW);
        pwm_hl_motor = 0;
        lcd.setCursor(0,0); //Nastavení pozice pro výpis
        lcd.println("Konec hlavní osy");
      }else{
        digitalWrite(46, HIGH);
        digitalWrite(47, LOW);
        pwm_hl_motor = analog_0/4;
        lcd.setCursor(0,0); //Nastavení pozice pro výpis
        lcd.println("hlavní vlevo");
      }
    }
    if((digitalRead(22)==LOW) && (digitalRead(23)==HIGH)){
      if(analogRead(A5)==0){ // test dorazu
        digitalWrite(46, LOW);
        digitalWrite(47, LOW);
        pwm_hl_motor = 0;
        lcd.setCursor(0,0); //Nastavení pozice pro výpis
        lcd.println("Konec hlavní osy");
      }else{
        digitalWrite(46, LOW);

```

```

        digitalWrite(47, HIGH);
        pwm_hl_motor = analog_0/4;
        lcd.setCursor(0,0);    //Nastavení pozice pro výpis
        lcd.println("hlavní vpravo");
    }
}
if((digitalRead(22)==LOW) && (digitalRead(23)==LOW)){
    digitalWrite(46, LOW);
    digitalWrite(47, LOW);
    pwm_hl_motor = 0;
    lcd.setCursor(0,0);    //Nastavení pozice pro výpis
    lcd.println("hlavní necinna");
}
if((digitalRead(28)==HIGH) && (digitalRead(29)==LOW)){
    if(analogRead(A6)==0){    // test dorazu
        digitalWrite(50, LOW);
        digitalWrite(51, LOW);
        pwm_dr_motor = 0;
        lcd.setCursor(0,2);    //Nastavení pozice pro výpis
        lcd.println("Konec vedlej osy");
    }else{
        digitalWrite(50, HIGH);
        digitalWrite(51, LOW);
        pwm_dr_motor = analog_1/4;
        lcd.setCursor(0,0);    //Nastavení pozice pro výpis
        lcd.println("vedlejší vpravo");
    }
}
if((digitalRead(28)==LOW) && (digitalRead(29)==HIGH)){
    if(analogRead(A7)==0){    // test dorazu
        digitalWrite(50, LOW);
        digitalWrite(51, LOW);
        pwm_dr_motor = 0;
        lcd.setCursor(0,2);    //Nastavení pozice pro výpis
        lcd.println("Konec vedlej osy");
    }else{
        digitalWrite(50, LOW);
        digitalWrite(51, HIGH);
        pwm_dr_motor = analog_1/4;
        lcd.setCursor(0,2);    //Nastavení pozice pro výpis
        lcd.println("vedlejší vlevo");
    }
}

```



```

    }
    if((digitalRead(28)==LOW) && (digitalRead(29)==LOW)){
        digitalWrite(50, LOW);
        digitalWrite(51, LOW);
        pwm_dr_motor = 0;
        lcd.setCursor(0,2);    //Nastavení pozice pro výpis
        lcd.println("vedlejší necinna");
    }

    hodnota_senzoru();

}elseif((digitalRead(24)==LOW) && (digitalRead(25)==HIGH)){ // Externí ovládání

    int analog_8 = analogRead(A8); // načti externí hodnotu pro hlavní motor
    int analog_9 = analogRead(A9); // načti externí hodnotu pro vedlejší motor
    // Podmínka pro určení směru
    if((analog_8 >= 0) && (analog_8 <= 465)){    //Určí směr
        if(analogRead(A4)==0){    // test dorazu
            digitalWrite(46, LOW);
            digitalWrite(47, LOW);
            digitalWrite(30,HIGH);
            pwm_hl_motor = 0;
            lcd.setCursor(0,0);    //Nastavení pozice pro výpis
            lcd.println("Konec hlavní osy");
        }else{
            digitalWrite(46, HIGH);
            digitalWrite(47, LOW);
            digitalWrite(30,LOW);
            pwm_hl_motor = analog_8 * 255 / 465;
            lcd.setCursor(0,0);    //Nastavení pozice pro výpis
            lcd.println("hlavní vlevo");
        }
    }

}

// Podmínka pro určení směru
if((analog_8 >= 558) && (analog_8 <= 1023)){    //Určí směr
    if(analogRead(A5)==0){    // test dorazu
        digitalWrite(46, LOW);
        digitalWrite(47, LOW);
        digitalWrite(31,HIGH);
        pwm_hl_motor = 0;
        lcd.setCursor(0,0);    //Nastavení pozice pro výpis

```

```

        lcd.println("Konec hlavní osy");
    }else{
        digitalWrite(46, LOW);
        digitalWrite(47, HIGH);
        digitalWrite(31,LOW);
        pwm_hl_motor = analog_8 * 255 / 465;
        lcd.setCursor(0,0);    //Nastavení pozice pro výpis
        lcd.println("hlavní vpravo");
    }
}

// Podmínka pro určení nečinnosti
if((analog_8 >= 466) && (analog_8 <= 557)){    //Určí směr
    digitalWrite(46, LOW);
    digitalWrite(47, LOW);
    pwm_hl_motor = 0;
    lcd.setCursor(0,0);    //Nastavení pozice pro výpis
    lcd.println("hlavní necinna");
}

// Podmínka pro určení směru
if((analog_9 >= 0) && (analog_9 <= 465)){    //Určí směr
    if(analogRead(A6)==0){    // test dorazu
        digitalWrite(50, LOW);
        digitalWrite(51, LOW);
        digitalWrite(32,HIGH);
        pwm_dr_motor = 0;
        lcd.setCursor(0,2);    //Nastavení pozice pro výpis
        lcd.println("Konec vedlej osy");
    }else{
        digitalWrite(50, HIGH);
        digitalWrite(51, LOW);
        digitalWrite(32,LOW);
        pwm_dr_motor = analog_9 * 255 / 465;
        lcd.setCursor(0,0);    //Nastavení pozice pro výpis
        lcd.println("hlavní vlevo");
    }
}

// Podmínka pro určení směru
if((analog_9 >= 0) && (analog_9 <= 465)){    //Určí směr
    if(analogRead(A7)==0){    // test dorazu
        digitalWrite(50, LOW);
        digitalWrite(51, LOW);
    }
}

```

```

        digitalWrite(33,HIGH);
        pwm_dr_motor = 0;
        lcd.setCursor(0,2);    //Nastavení pozice pro výpis
        lcd.println("Konec vedlej osy");
    }else{
        digitalWrite(50, LOW);
        digitalWrite(51, HIGH);
        digitalWrite(33,LOW);
        pwm_dr_motor = analog_9 * 255 / 465;
        lcd.setCursor(0,2);    //Nastavení pozice pro výpis
        lcd.println("vedlejsi vlevo");
    }

}

// Podmínka pro určení nečinnosti
if((analog_9 >= 466) && (analog_9 <= 557)){    //Určí směr
    digitalWrite(50, LOW);
    digitalWrite(51, LOW);
    pwm_dr_motor = 0;
    lcd.setCursor(0,2);    //Nastavení pozice pro výpis
    lcd.println("Vedlejsi necinna");
}

}

analogWrite(9,pwm_hl_motor); // zapíše na výstup hlavního motoru požadovaný výkon
analogWrite(11,pwm_dr_motor); // zapíše na výstup vedlejšího motoru požadovaný výkon

int procento_hl = (pwm_hl_motor * 100) / 255; // výpočet procentuálního výkonu
int procento_dr = (pwm_dr_motor * 100) / 255; // výpočet procentuálního výkonu

lcd.setCursor(0,1);    // výpis na 2. řádek, výkon hlavního motoru
lcd.println("Výkon: ");
lcd.println(procento_hl);
lcd.setCursor(0,3);    // výpis na 4. řádek, výkon druhého motoru
lcd.println("Výkon: ");
lcd.println(procento_dr);

hodnota_senzoru();
}

```

```

// metoda pro načtení senzorů pro měření vzdálenosti
void hodnota_senzoru(){
    int hl_senzor = analogRead(A2);    //načte analogovou hodnotu op. senzoru
    int dr_senzor = analogRead(A3);    //načte analogovou hodnotu op. Senzoru

    // výpočet pro hlavní osu
    float hl_volts = hl_senzor*0.00322265624;
    float hl_mezi = hl_volts*0.42;
    float hl_mezi_2 = hl_volts - 0.045;
    float hl_distance = (12.7549-hl_mezi)/hl_mezi_2;
    hl_distance = hl_distance -1;
    lcd.setCursor(12,1);                //Nastavení pozice pro výpis
    lcd.println(hl_distance);

    // výpočet pro druhou osu
    float dr_volts = dr_senzor*0.00322265624;
    float dr_mezi = dr_volts*0.42;
    float dr_mezi_2 = dr_volts - 0.045;
    float dr_distance = (12.7549-dr_mezi)/dr_mezi_2;
    dr_distance = dr_distance -1;
    lcd.setCursor(12,3);                //Nastavení pozice pro výpis
    lcd.println(dr_distance);
}

```